

RONALDO PAULO KRAFT

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE POÇOS E AFLORAMENTOS
PARA A CARACTERIZAÇÃO DE ARENITOS FRATURADOS
– ESTUDO DE CASO NOS ARENITOS VILA VELHA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau Mestre, pelo Curso de Pós-Graduação em Geologia Exploratória, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla

Co-orientadores:

Prof. Dr. Augustinho Rigoti

Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes

CURITIBA
2004

Kraft, Ronaldo Paulo

Integração de dados de poços e afloramentos para a caracterização de arenitos fraturados - estudo de caso nos arenitos Vila Velha / Ronaldo Paulo Kraft. - Curitiba, 2004. x, 92 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla

Co-orientadores: Prof. Dr. Augustinho Rigoti

Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes

Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná.

Inclui Bibliografia.

1. Reservatórios análogos - Petróleo. 2. Poços - Análise granulométrica. 3. Arenito - Porosidade. I. Rostirolla, Sidnei Pires. II. Rigoti, Augustinho. III. Fernandes, Luiz Alberto. IV. Título. V. Universidade Federal do Paraná.

CDD 552.5


TERMO DE APROVAÇÃO

RONALDO PAULO KRAFT

“INTEGRAÇÃO DE DADOS DE POÇOS E AFLORAMENTOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE ARENITOS FRATURADOS – ESTUDO DE CASO NOS ARENITOS VILA VELHA”.

Dissertação de mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, com área de concentração em Geologia Exploratória, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos Professores:

Curitiba, 03 de dezembro de 2004.


Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla - UFPR
Presidente


Dr. Ciro Jorge Appi - PETROBRAS


Dr. Luís Tadeu Cava - MINEROPAR

RESUMO

O estudo de rochas em superfície análogas a reservatórios em subsuperfície vem cada vez mais ganhando importância na indústria petrolífera, de modo que heterogeneidades geológicas imperceptíveis em investigações de grandes profundidades possam ser reconhecidas e modeladas. A presente dissertação é um estudo em um reservatório análogo, que promove a integração de dados de poços e afloramentos em um ambiente computacional comum, de modo que possam ser diretamente correlacionados. Os trabalhos foram focados em um platô constituído principalmente por arenitos finos a médios, com intercalações de folhelhos e siltitos, pertencentes à Formação Campo Mourão, Grupo Itararé, da Bacia do Paraná, localizado na fazenda Rivadávia, nas proximidades do Parque Estadual de Vila Velha, estado do Paraná. Os lineamentos estruturais reconhecidos em uma base topográfica de escala 1:50.000 foram traçados e as direções obtidas foram comparadas com os padrões encontrados em escalas de afloramento, mostrando a concordância entre os diferentes dados. A caracterização faciológica teve como base a descrição de testemunhos de sondagens e a delimitação de fácies sobre foto-mosaicos de afloramentos. Outras informações de subsuperfície foram obtidas por poços tubulares perfurados, que forneceram amostras de calhas as quais foram descritas texturalmente e feitas análises granulométricas, gerando curvas de granulometria média e valores de desvio padrão. Os poços também foram perfilados com ferramentas geofísicas como leitores de raios-gama, sônicos e de resistividade. Os valores de porosidades foram obtidos por três técnicas: análise de imagens binárias de lâminas; estimativa por perfis sônicos; e análise laboratorial por injeção de mercúrio. Ao comparar as curvas de desvio padrão, que correspondem ao grau de seleção, com os valores de porosidade, verificou-se que altos graus de seleções correspondem a baixas porosidades. Comparando as curvas de raios-gama com as de granulometrias médias, verificou-se que não existe uma relação direta entre ambas, evidenciando que a primeira delas não pode ser utilizada como um perfil granulométrico, mas apenas litológico. Os dados de afloramentos foram materializados como pseudo-poços ou poços sintéticos, de forma que tiveram coordenadas espaciais e foram tratados da mesma forma que os poços reais. Assim, foram interpolados atributos específicos, como graus de seleção, granulometrias médias e valores de raios gama, sendo representados tridimensionalmente na forma de sólidos, diagramas em cerca e seções longitudinais. A utilização de pseudo-poços como uma ferramenta para a integração de dados de poços e afloramentos mostrou-se eficiente para a caracterização de reservatórios análogos, porém incertezas devem ser levadas em considerações, e entre elas, o conhecimento de que os efeitos telodiagenéticos afetaram as rochas aflorantes e sub-aflorantes, alterando as características originais das rochas enquanto que os mesmos processos não têm muita influência em reservatórios profundos.

Palavras Chave: Integração de dados, heterogeneidades de reservatórios, pseudo-poços.

ABSTRACT

The study of outcrops analogues to subsurface reservoirs is an important tool in petroleum exploration. This approach is based in the assumption that macroscopic and mesoscopic reservoir heterogeneities cannot be observed in subsurface with usual seismic data. Detailed 3D outcrop survey provides qualitative and quantitative analysis of sedimentological and structural heterogeneities can be evaluated and modeled. The aim of the present work is the application of several tools in the analysis of a reservoir analogue of the Late Paleozoic Itararé Group located in the eastern flank of the Paraná Basin, in southeastern Paraná State. The study was focused in a thick sandstone package that represents the uppermost and better exposed stratigraphic unit of the Vila Velha sandstone. Data base includes 1:10.000 aerial photos, detailed digital topographic models, vertical outcrop sections, architectural photomosaics and geophysical logs and core data from shallow wells. Collected data were organized and integrated in a common computational environment. Based on the general structural trends recognized in 1:50.000 digital elevation models, structural features observed in outcrop were analyzed and correlated with the regional tectonic framework. Models of lateral and vertical facies changes were taken from core and outcrop description, grain-size and sorting profiles and well-log data. Porosity values for selected lithofacies were obtained by binary images of thin sections, sonic log estimation and mercury injection. Some vertical lithofacies variations not detected by the gamma-ray profiles were observed in grain-size curves of most of the wells sampled. A direct relation of sorting profiles and porosity was also verified. The spatial distribution of lithofacies attributes was used to generate pseudo-wells or synthetic wells. Based on these information, several types of data, as grain-size, sorting and mud content, were used to build three-dimensional models, fence diagrams and cross sections. Stratigraphic aspects like depositional patterns and lateral facies changes were also observed. The integration of different data in the analysis of a well-exposed sandstone unit revealed efficient to recognize reservoir heterogeneities. However, direct application of the models in the hydrocarbon exploration is limited because some of the characteristics observed in outcrops certainly resulted from telodiagenetic modifications that did not affected these rocks in subsurface.

Key Words: Data integration, reservoir heterogeneities, pseudo-wells.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos são destinados, em especial, ao meu orientador professor Sidnei Pires Rostirolla, aos professores co-orientadores Luiz Alberto Fernandes e Augustinho Rigoti, ao professor Fernando Mancini, que apesar de não ser co-orientador, atuou como se assim o fosse.

Agradeço a Universidade Federal do Paraná, ao curso de Pós-graduação da Geologia, e a professora Eleonora, coordenadora do programa, por compreender os eventuais atrasos nos prazos de entregas.

Ao CTPETRO, FINEP, PETROBRAS e ao Programa Tecnológico em Fronteiras Exploratórias (PROFEX) e seu coordenador, Dr. Ciro Jorge Appi, pelo suporte financeiro e por permitirem a divulgação dos dados.

A Capes, pela concessão de uma bolsa de mestrado.

Aos proprietários da Fazenda Rivadavia, especificamente os senhores Carlos Delezuk, “Peca”, Daniel e Gaspar, por compreenderem a importância de pesquisas científicas, e permitirem a realização dos estudos em suas propriedades.

Ao Instituto Ambiental do Paraná (IAP), por autorizar a realização de pesquisas dentro do Parque Estadual de Vila Velha.

Ao professor Carlos Jorge Abreu, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e a sua equipe, que realizaram trabalhos de sondagens na área.

Ao Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná, em especial ao professor Edson Aparecido Mitishita, ao Álvaro, Roosevelt, Zambiasi e ao “Feijão”, pelos trabalhos topográficos e de correção de fotografias de afloramentos.

Ao Adilson, técnico do laboratório de laminação da UFPR.

Ao geólogo Rodrigo Secchi, pelas análises granulométricas realizadas.

Aos colegas do projeto MODRES, alunos da graduação e pós-graduação em geologia, sem os quais este trabalho não teria os mesmos resultados, Adriane Fátima de Campos, Marcelo Kulevicz Bartoszeck, Fernando Farias Vesely, Bárbara Trzaskos Lipski, Luciane Bocardi, Cristiane Tinoco dos Santos, Michael Oliveira de Melo, Rodrigo Brunetta, Isabella Figueira, Rafael Correa de Freitas, Eduardo Mezzomo, Fernando Pinheiro, Gabriela Ferreira dos Santos e Camila Medina, que tanto colaboraram em trabalhos de campo, digitalização de cartas topográficas, análises laboratoriais, levantamentos estruturais e estratigráficos, estudos diagenéticos, e sugestões e revisões de textos.

E ao geólogo Dr. Luis Tadeu Cava, pelas correções e sugestões feitas neste presente trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus pais, Carlos José Kraft e Odila Dalides Parma Kraft, e a minha irmã Rosilene Aparecida Kraft, pela oportunidade que me deram em realizar meus estudos fora de casa. E também dedico à minha namorada, Kadja Mozara Moreira Bubniak, com quem sempre pode contar e que soube compreender minhas ausências e momentos de mau humor.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMENTOS	iii
DEDICATÓRIA	iv
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Localização e Aspectos Fisiográficos	3
1.2. Objetivos	5
2. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS	7
2.1. Materiais	7
2.2. Métodos	11
2.2.1. Seleção da Área	12
2.2.2. Fotos Aéreas	13
2.2.3. Vetorização do Relevo	15
2.2.4. Caracterização Estrutural	18
2.2.5. Foto-Mosaicos de Afloramentos	19
2.2.6. Poços Tubulares e Sondagens	22
2.2.7. Perfilagens Geofísicas	25
2.2.8. Análises Granulométricas	30
2.2.9. Caracterização Petrográfica e Petrofísica	30
2.2.10. Poços Sintéticos	33
3. CONTEXTO GEOLÓGICO	36
3.1. Bacia do Paraná	36
3.1.1. Sistema Petrolífero Ponta Grossa - Itararé	39
3.2. Geologia Local	41
4. RESULTADOS OBTIDOS	46
4.1. Modelagem Topográfica	46
4.2. Caracterização Estrutural	49
4.3. Caracterização Faciológica	57
4.4. Caracterização Petrográfica	62

4.5. Caracterização Textural	62
4.6. Caracterização Petrofísica	66
4.6.1. Porosidade	67
4.6.2. Relações Porosidade <i>versus</i> Permeabilidade	73
4.7. Modelagem Tridimensional	75
4.7.1. Fácies Sedimentares	75
4.7.2. Granulometrias Médias	78
4.7.3. Grau de Seleção	81
4.7.4. Raios Gama	84
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
6. BIBLIOGRAFIA	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização da Fazenda Rivadavia e da área de estudo	4
Figura 02 – Foto mostrando a escarpa norte que delimita o platô estudado.....	5
Figura 03 – Organograma das atividades desenvolvidas	12
Figura 04 – Diferentes graus de detalhes obtidos entre ampliações de fotos aéreas em escalas 1:25.00 e 1:10.000.....	14
Figura 05 – Captura de tela mostrando a digitalização de curvas de níveis.....	15
Figura 06 – Captura de tela mostrando o uso do programa DXF2XYZ.	16
Figura 07 – Caixa de diálogo mostrando os parâmetros para a geração do gride no programa Surfer 8.0	17
Figura 08 – Localização dos painéis fotográficos.	20
Figura 09 – Exemplos de detalhes distorcidos em mosaicos não corrigidos.....	21
Figura 10 – Detalhe de ortorectificação de fotos de afloramentos.	21
Figura 11 – Localização dos poços perfurados.	23
Figura 12 – Sondagens realizadas por empresa contratada - (a) máquina utilizada; (b) detalhe do furo.	24
Figura 13 – Trabalhos de sondagens realizadas pela UFRJ- (a) detalhe do equipamento; (b) estrutura completa de perfuração.....	24
Figura 14 – Detalhes dos testemunhos de sondagens A seta indica o topo. (a) percolação de água; (b) estratificação cruzada; (c) intervalo com seleção baixa; (d) gradação normal; (e) concentração de óxidos de ferro; (f) clasto de argila. ..	25
Figura 15 – Foto mostrando a calibração da ferramenta utilizada para a leitura de raios-gama.	26
Figuras 16a e 16b – Montagem e execução de perfilagem geofísica.....	27
Figuras 17a e 17b – Leituras da perfilagens geofísicas.	27
Figuras 18a e 18b– Ferramenta utilizada para a leitura de perfis de resistividade...	28
Figuras 19a e 19b – Ferramenta utilizada para a leitura de perfil sônico.	28
Figura 20 – Utilização de água para a execução das perfilagens geofísicas.	28
Figura 21 – Perfis geofísicos e localização dos poços utilizados.	29
Figura 22 - Exemplo de foto-micrografia, mostrando os poros em azul (a), e imagem binarizada resultante (b).	32
Figura 23 – Criação de poços sintéticos.....	35
Figura 24 – Diferentes formas de correlações para atributos geológicos.....	35
Figura 25 – Mapa de localização da Bacias do Paraná (mod. Milani & Thomaz Filho, 2000).	37
Figura 26 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Paulipetro 1981).....	38

Figura 27 - Carta estratigráfica do Grupo Itararé (modificada de França <i>et al.</i> 1996, <i>apud</i> Vesely & Assine, 2004).....	40
Figura 28 – Mapa geológico da área de estudo (Vesely <i>et al.</i> 2003).....	43
Figura 29 – Fácies sedimentares na área de estudo (Vesely <i>et al.</i> 2003).....	44
Figura 30 – Perfil geológico da área de estudo (Vesely <i>et al.</i> 2003).	45
Figura 31 – Modelo digital de elevação regional e compartimentação geomorfológica (visão para Nordeste).	47
Figura 32 – Modelo Digital de Elevação com visão de NW para SE.	48
Figura 33 – Modelo Digital de Elevação com visão de NE para SW.	48
Figura 34 – Mapa de alinhamentos estruturais em nível regional (limitado à Bacia do Paraná).....	49
Figura 35 – Diagramas em rosetas dos alinhamentos estruturais em nível regional; A – distribuição por frequência; B – distribuição por comprimento acumulado.	50
Figura 36 – (A) Mapa de fraturas da Fazenda Rivadávia; (B) Mapa de contorno de frequência; (C) Comparação entre fraturas aflorantes e fraturas delimitadas por interpretações sísmicas.....	52
Figura 37 – Diagrama de rosetas de dados de campo (frequência).....	53
Figura 38 – Diagrama de rosetas de dados foto-interpretados: (A) Frequência; (B) Comprimentos acumulados.	53
Figura 39 – Traçados de fraturas sobre mosaicos de afloramentos. Corte em planta, com o Norte no topo da figura.	54
Figura 40 – Diagramas em rosetas de fraturas de mosaicos de afloramentos: (A) Frequência; (B) Comprimentos acumulados.	55
Figura 41 – Fotomicrografia de uma banda de deformação cominuida (Trzaskos-Lipski <i>et al.</i> , 2004).	56
Figura 42 – Fotomicrografia de uma banda de deformação preenchida por óxidos de ferro (Trzaskos-Lipski <i>et al.</i> , 2004).	56
Figura 43 – Perfil granulométrico dos testemunhos de sondagens.....	58
Figura 44 – Painéis fotografados e interpretados I.....	60
Figura 45 – Painéis fotografados e interpretados II.....	61
Figura 46 – Curvas da distribuição da granulométrica e textural.....	64
Figura 47 – Porcentagens acumuladas das frações granulométricas.	66
Figura 48 – Distribuição da porosidade com base em análise de imagens binárias de lâminas.	68
Figura 49 – Comparação entre espaços intergranulares preenchidos por óxidos e a porosidade atual.	69
Figura 50 – Comparação entre litologia, raios gama, características texturais e valores de porosidade.	70
Figura 51 – Correlação entre valores de porosidade medida por porosímetro de mercúrio, grau de seleção, granulometria média e raios gama.....	72

Figura 52 – Correlação espacial entre permeabilidade e porosidade.....	74
Figura 53 – Correlação entre valores de porosidade e permeabilidade: (1) arenitos médios; (2) arenitos finos (poço 2-RIV-001-PR).....	75
Figura 54 – Diagrama em cerca gerado a partir de poços sintéticos.....	76
Figura 55 – Sólido gerado a partir de poços sintéticos, mostrando a geometria das fácies (sobrelevação 10X).	77
Figura 56 – Sólido mostrando a distribuição dos valores de granulometrias médias (sobrelevação 2X: SMF – silte muito fino; SF – silte fino; SM – silte médio; SG – silte grosso; AMF – areia muito fina; AF – areia fina; AM – areia média; AG – areia grossa).....	78
Figura 57 – Diagrama em cerca dos valores de granulometria média (sem sobrelevação: SMF – silte muito fino; SF – silte fino; SM – silte médio; SG – silte grosso; AMF – areia muito fina; AF – areia fina; AM – areia média; AG – areia grossa).	79
Figura 58 – Seções mostrando a distribuição da granulometria média (sobrelevação 2X: SMF – silte muito fino; SF – silte fino; SM – silte médio; SG – silte grosso; AMF – areia muito fina; AF – areia fina; AM – areia média; AG – areia grossa).	80
Figura 59 – Sólido mostrando a distribuição espacial dos valores de desvio padrão (sobrelevação 3X).	82
Figura 60 – Diagrama em cerca mostrando a distribuição espacial dos valores de desvio padrão (sobrelevação 2X).....	82
Figura 61 – Seção mostrando a distribuição dos valores de desvio padrão e grau de seleção (sobrelevação 2X).....	83
Figura 62 – Diagrama de cerca mostrando a distribuição de valores de raios gama.	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Poços e sondagens efetuados na Fazenda Rivadavia.....	22
Tabela 02 – Valores de porosidade e densidade das rochas.....	67
Tabela 03 – Valores de porosidades calculados através de perfil sônico.	71

1. INTRODUÇÃO

A indústria petrolífera tem dado cada vez mais importância ao estudo de afloramentos análogos dos campos produtores de óleo e gás, onde, segundo Appi & Rostirolla (2004), representa um potencial para determinar heterogeneidades em alta resolução. As heterogeneidades de reservatórios em escala reduzida são imperceptíveis em levantamentos sísmicos tradicionais e perfis de poços, o que dificulta o planejamento para exploração e produção. As propriedades petrofísicas derivadas do arranjo sedimentológico/estratigráfico (fácies e diagênese) e estrutural (fraturamento) podem ser analisadas em reservatório análogo aflorante, para posterior modelagem numérica e predição para níveis em subsuperfície. Esta modelagem segue a premissa de que exemplos aflorantes podem ser extrapolados para áreas menos conhecidas, em subsuperfície. O uso de análogos pode trazer inúmeros benefícios: baixo custo, obtenção direta de dados, integração de dados em tempo real (geologia e geofísica) e construção de esquemas geológicos detalhados em relação aos modelos adotados com base em métodos indiretos.

Diante desta necessidade de estudos de detalhe, foi desenvolvido, no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, o projeto *MODRES - Modelagem de Potenciais Reservatórios Fraturados em Superfície para Auxílio Exploratório em Subsuperfície*, financiado pela Finep/Petrobrás, que visa a modelagem da anisotropia e unidades de fluxo em reservatórios fraturados, enfocando a análise petrofísica e o imageamento sísmico de reservatórios análogos aflorantes na Bacia do Paraná. Este modelamento permite uma quantificação e visualização dos parâmetros petrofísicos e hidrológicos de reservatórios de hidrocarbonetos cujos levantamentos de dados estruturais e petrofísicos em macro e micro-escala podem ser integrados num só modelo, que poderá ser utilizado para áreas em subsuperfícies. Devido à multidisciplinaridade abrangida, o projeto MODRES foi dividido em subprojetos que abrangeram temas específicos como: métodos de seleção de potenciais análogos; caracterização estrutural; estratigrafia; diagênese; petrofísica; aquisição, processamento e interpretação de dados sísmicos; aquisição, processamento e interpretação de dados não-sísmicos; integração de dados em ambiente comum; e modelagem tridimensional.

A dissertação aqui apresentada é produto do desenvolvimento do subprojeto que promove a integração de dados num ambiente comum, utilizando como fonte de informações afloramentos e poços perfurados, e como meio o uso de poços sintéticos ou pseudo-poços. Para obter esta integração, diversas etapas foram realizadas, que são referentes aos itens expostos e discutidos nesta dissertação.

O método de pesquisa adotado incluiu inicialmente, e ao longo das demais etapas, adquirir conhecimento teórico sobre publicações que tivessem como tema a correlação entre características aflorantes e dados de poços, bem como literaturas que envolvessem interpretação de perfilagem geofísica de poços, conceitos sobre propagação de ondas sonoras (perfil sônico), quantificação de porosidade e permeabilidade, classificação faciológica e textural, além de assuntos que tratassem do contexto geológico da área.

Foi escolhido o sistema petrolífero Ponta Grossa (rocha geradora) – Itararé (rocha reservatório) por apresentar conhecido modelo de acumulação de gás. Neste sistema, foi selecionada a denominada Fazenda Rivadávia para o desenvolvimento desta pesquisa, onde foram estudados afloramentos da Formação Campo Mourão, Grupo Itararé nas proximidades do Parque Estadual de Vila Velha, devido às características petrofísicas similares às previstas para os blocos licitados na Bacia. Os afloramentos correspondem a arenitos predominantemente quartzosos, em geral avermelhados devido à presença de óxidos de ferro, além de níveis pelíticos e diamictitos.

Após a definição da área passou-se para a aquisição de dados, etapa que consistiu em obter e trabalhar com elementos de sensoriamento remoto como fotos aéreas em escalas 1:50.000 e 1:10.000, e cartas topográficas. O condicionamento estrutural foi abordado em escala regional e local, onde através de mapeamento de detalhe foram observadas características descritivas e, quando possível, cinemáticas dos planos de descontinuidades existentes. Os trabalhos estratigráficos consistiram em realizar foto-mosaicos da continuidade lateral dos afloramentos, sobre os quais fácies identificadas em campo foram delimitadas, além da construção de perfis verticais de campo. Dados de subsuperfície, envolvendo testemunhos de sondagens e amostras de calhas de poços tubulares, foram utilizados para a caracterização petrofísica e textural, além dos poços perfurados terem sido perfilados com ferramentas de leituras de raios-gama, resistividade e sônico.

Os dados obtidos foram inseridos no programa Rockworks 2004 na forma de poços, quando tratava-se de informações de furos legítimos, e como poços sintéticos ou pseudo-poços, quando fosse referente a atributos extraídos diretamente de afloramentos. Para ambos os casos, a precisão no posicionamento espacial das informações foi de importância essencial. Por se tratar de dados com coordenadas tridimensionais (x, y e z), pode-se gerar sólidos e diagramas em cerca que representam a distribuição espacial 3D de atributos como grau de seleção, granulometrias médias e valores de leituras de raios-gama.

Como resultados obtidos no desenvolvimento destes métodos podem ser mencionados: geração de modelos numéricos de terreno com base na digitalização de cartas topográficas; mapas de distribuição e frequência de fraturas a nível de detalhe, bem como diagramas em rosetas das direções mapeadas; painéis que retratam a geometria da distribuição lateral de fácies e perfis verticais que evidenciam o empilhamento estratigráfico; gráficos texturais e petrofísicos que foram correlacionados entre si, a fim de verificar as relações entre valores de porosidade e grau de seleção das amostras; e a geração de sólidos, diagramas em cerca e seções que permitem visualizar a distribuição espacial dos dados obtidos.

O uso de poços sintéticos para a integração e correlação entre atributos geológicos e perfilagens geofísicas mostrou-se eficiente, principalmente por se tratar de estudos de detalhe. Entretanto devem ser tomados cuidados com respeito à incertezas associadas, tais como escolhas inadequadas de método de interpolação de valores, descuidos durante etapas laboratoriais, além levar em consideração os efeitos diagenéticos, principalmente do estágio da telodiagênese, que alteraram as características originais das rochas aflorantes e subaflorantes.

1.1 Localização e Aspectos Fisiográficos

A área alvo estudada apresenta 1,5 Km² e está compreendida entre as coordenadas UTM 601100/7204200 e 602100/7202700 (Figura 01), situada dentro da Fazenda Rivadávia, cuja principal via de acesso é a rodovia BR-376 (Rodovia do Café), sentido sul – norte, localizando-se cerca de 80km de Curitiba e 20km de Ponta Grossa.

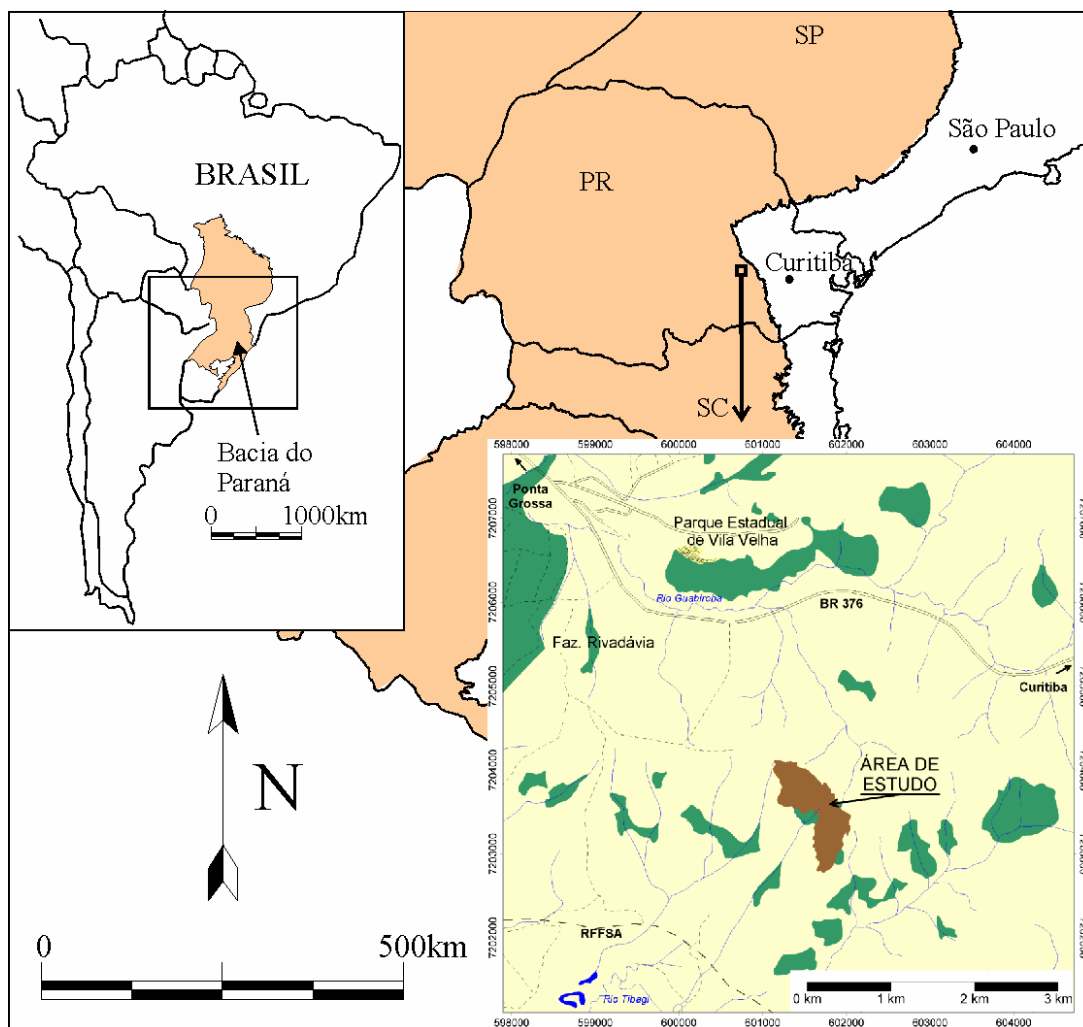


Figura 01 – Localização da Fazenda Rivadávia e da área de estudo

Os estudos foram concentrados num dos platôs existentes na região, delimitado por escarpas com alturas máximas de 14 metros (figura 02), sendo um dos platôs que apresenta a sequência estratigráfica mais completa. Situado no Segundo Planalto Paranaense, na borda leste da Bacia do Paraná, o local possui altitude média próxima a 900 metros, variando entre 800 e 1100 metros. Nas proximidades da área localiza-se o Parque Estadual de Vila Velha, principal ponto turístico da região, com sequência estratigráfica correlata ao referido platô, porém, por se tratar de um parque estadual, os mesmos trabalhos não puderam ser aplicados dentro do parque.



Figura 02 – Foto mostrando a escarpa norte que delimita o platô estudado.

Devido à natureza arenosa do local, com delgadas camadas de solos, a vegetação existente não é muito desenvolvida, sendo predominantes a existência de arbustos de pequeno porte, bromélias, e vegetação de campo e capões de mato esparsos, com exceção dos locais próximos a drenagens, onde desenvolveram árvores de maior porte, como araucárias e bracatingas. Com relação à rede de drenagens, estas fazem parte da bacia hidrográfica do rio Tibagi, com padrão dendrítico no local. A escarpa estudada, localizada numa das porções mais elevadas, está situada num divisor de águas, onde a vertente Sul alimenta diretamente o rio Tibagi, e a vertente Norte abastece o rio Guabiroba, afluente do rio Tibagi.

1.2. Objetivos

Os objetivos principais que foram buscados durante a execução desta dissertação foram:

- Caracterizar rochas aflorantes análogas a um reservatório em subsuperfície sobre o ponto de vista estrutural, faciológico, petrofísico e textural;
- Integrar dados de poços rasos e afloramentos em um ambiente computacional comum.

Como objetivos secundários, teve-se:

- Verificar o comportamento estrutural em diferentes ordens de grandezas ou escalas;
- Comparar técnicas para a quantificação de valores de porosidades;
- Utilizar dados unidimensionais (1D) para resultar em informações tridimensionais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

2.1. Materiais

Entre inúmeros programas computacionais, equipamentos e documentos cartográficos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa, serão listados alguns, ressaltando que muitas outras ferramentas foram utilizadas, muitas vezes apenas como uma forma rápida de suprir eventuais necessidades, porém, de grande relevância. Os programas não serão listados de acordo com a ordem de utilização, uma vez que um mesmo programa não foi utilizado apenas em uma única etapa da pesquisa, mas em vários momentos.

Programas computacionais:

Didger V3.02, Copyright ©, by Golden Software, Inc.:

Software utilizado tanto para a vetorização de imagens *raster*, as quais foram georreferenciadas e salvas como imagens “geo-tiff”, como para a geração de mapas de distribuição de fraturas.

AutoCad R14, Copyright ©, by Autodesk, Inc.:

Usado principalmente para a digitalização de curvas de nível das cartas topográficas, já com os respectivos valores das cotas.

Dxf2xyz V1.3, by Guthrie CAD/GIS Software:

Programa que extrai as coordenadas x, y e z de linhas e pontos que estejam salvos no formato .dxf, no caso, dos arquivos gerados na digitalização das cartas topográficas.

Spring V4.0, Copyright ©, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE):

Programa que trabalha com informações georreferenciadas, na pesquisa, foi utilizado para visualizar diferentes elementos num mesmo ambiente, como aerofotos com traçado de fraturas, malha topográfica, mapa geológico, entre outros. Também

serviu para a extração de valores de cotas em pontos específicos, como a boca de poços perfurados.

Surfer 8.00, Copyright ©, by Golden Software, Inc.:

Programa versátil e de fácil utilização, onde os valores x, y e z obtidos nas cartas topográficas foram interpolados e representados como modelos digitais de elevação (MDE). Também permitiu a edição de mapas, com a colocação de coordenadas, escalas e orientação.

PanaVue ImageAssembler V2.12a, Copyright ©, by PanaVue Inc.:

Programa para a edição de imagens, especificamente para a junção de várias imagens em uma só, com o qual pode-se criar foto-mosaicos de afloramentos.

CorelDraw © V12, By Corel Corporation:

Editor gráfico utilizado para a edição e criação de várias das figuras que são apresentadas nesta dissertação.

Imago Beta Version, Copyright ©, by ESSS:

Software específico para a análise de imagens binárias, que foi utilizado para a quantificação em área de porções escuras em relação as porções claras em lâminas de amostras de arenitos (as partes claras dessas referidas imagens são referentes aos poros preenchidos por corantes específicos, e as partes escuras constituem o arcabouço).

SysGran 2.4, Copyright ©, by Camargo's Corp.:

Programa que trabalha em formato de planilhas, semelhante ao *Excel*, para cálculos relacionados a análises granulométricas como valores de médias, medianas, graus de seleção, assimetria e curtose.

LogPlot 2003, Copyright ©, by RockWare Incorporated:

Uso específico para a representação de curvas de distribuição de valores em função da profundidade. Os dados de leituras de perfilagens geofísicas (raios-gama, sônico, resistividade), petrofísicos (porosidade e permeabilidade) e texturais (grau de

seleção e granulometrias médias) foram representados com a utilização deste software.

RockWorks 2004, Copyright ©, by RockWare Incorporated:

Programa desenvolvido para o uso geológico, com módulos diferenciados, sendo um específico para o uso de dados de poços, e um outro como utilitário em forma de planilha. Com este software, os dados dos poços perfilados e amostrados foram interpolados tridimensionalmente, e visualizados na forma de sólidos, diagramas em cerca e seções. Informações provenientes diretamente de afloramentos foram inseridos no RockWorks na forma de poços sintéticos, para que pudessem ser trabalhados junto aos dados dos poços reais. O módulo utilitário foi usado principalmente para a representação das direções de planos de descontinuidades na forma de diagramas em rosetas.

Equipamentos:

Estereoscópios de espelho e bolso:

Utilizado para interpretação de fotos aéreas, com o traçado de elementos estruturais e estratigráficos.

Equipamentos básicos de campo (martelo, bússolas, lupa, caderneta):

Para a coleta de amostras, leitura de atitudes de planos de descontinuidades e superfícies deposicionais, e para as demais finalidades básicas pertinentes em trabalhos de geologia.

Câmera Fotográfica Canon modelo G2:

Câmera digital com resolução de 4 mega-pixel com a qual foram fotografados os afloramentos, com utilidade principal para a confecção dos foto-mosaicos que serão apresentados oportunamente, onde foi essencial a alta resolução do equipamento.

Testemunhador Portátil marca Sthill, modelo DO26-C:

Equipamento que consiste no sistema de uma moto-serra adaptada movida à gasolina que, ao invés de dentes para corte, utiliza brocas diamantadas de 1

polegada de diâmetro por 8 polegadas de comprimento. Foi utilizada para a obtenção de pequenos plugues de rochas aflorantes, para posterior confecção de lâminas e realização de ensaios petrofísicos.

Peneiras para análise granulométrica a seco:

São peneiras metálicas circulares, utilizadas para o peneiramento de amostras arenosas desagregadas, acopláveis entre si de forma a constituir uma seqüência de aberturas de suas malhas, onde a que possui a maior abertura é colocada no topo da seqüência, diminuindo para a base até a última, sem malha, apenas para a retenção das frações mais finas. Todo processo de peneiramento ocorre a seco, sendo que esta pilha de peneiras é colocada sobre um vibrador elétrico, que facilita a movimentação vertical das partículas ao longo das malhas. Foi trabalhado com as seguintes aberturas de malhas em unidade de milímetro: 2.000, 1.410, 1.000, 0.707, 0.500, 0.354, 0.250, 0.177, 0.125, 0.088, 0.062 e uma base final sem malha, abrangendo, assim, frações desde areia muito grossa até areia muito fina, agrupando as frações siltico-argilosas como uma única classe, sem diferenciação.

Documentos Cartográficos:

Fotos aéreas 1:25.000 e 1:10.000:

Utilizadas como base para localização em campo, planejamento de trabalhos, e interpretação de alinhamentos estruturais e quebras de relevo. Na escala 1:25.000 foram usadas as fotos dos trabalhos de levantamento da empresa Aerosul S.A., do ano de 1980, designadas pelos números 46309, 46308, 50172, 50173, 50174, 50175, 50176, 46352, 46353, 46354, 46355, 50225, 50224, 50223, 50222, 50221, 46364, 46363, 46362, 46361, 50130, 50131, 50132, 47949, 47950, 47951, 47952, 50124, 50123, 50122, 50121, 50120, 48010, 48009, 48008, 48007, 50016, 50017, 50018, 50019, 50020, 48097, 48098, 48099, 48100, 50007, 50006, 50005 e 50004. Como fotos aéreas em escala 1:10.000, perfizeram parte fotos em levantamento realizado em dezembro de 2002, pela empresa AEROSAT – Arquitetura Engenharia e Aerolevantamento Ltda, com a seguinte numeração: 87007, 87008, 87009, 87010, 87011, 87012, 87013 e 87014.

Cartas topográficas:

As seguintes cartas topográficas em escala 1:50.000 foram utilizadas: Palmeira (SG-22-X-C-II-4), do ano de 1990, Ponta Grossa (SG-22-I-II-2), de 1961, Colônia Quero Quero (SG-22-K-I-3), de 1959, e Itaiacoca (SG-22-K-I-1), de 1959, todas desenvolvidas pela Diretoria do Serviço Geográfico.

2.2. Métodos

Para se alcançar os objetivos propostos, as atividades seguiram uma seqüência metodológica conforme descrita neste capítulo e visualizada na figura 03, onde foram utilizados programas computacionais e equipamentos diversos. Em síntese, partiu-se de um prévio levantamento bibliográfico, que foi realizado ao longo de toda pesquisa, consistindo na coleta de informações literárias acerca da geologia regional e local, além de informações que tratassem do conhecimento teórico e prático das metodologias utilizadas. Passou-se então para a seleção da área alvo, seguindo com a principal etapa, que foi a de aquisição de dados, os quais foram modelados e finalmente interpretados. A fase de aquisição de dados seguiu uma seqüência de desenvolvimento que iniciou com a aquisição de dados cartográficos, seguidos pelos estruturais, estratigráficos, geofísicos e por fim os petrográficos.

As técnicas envolvidas na execução da presente dissertação serão descritas a seguir, compreendendo em uma breve apresentação, justificativa e a forma de uso de cada uma.

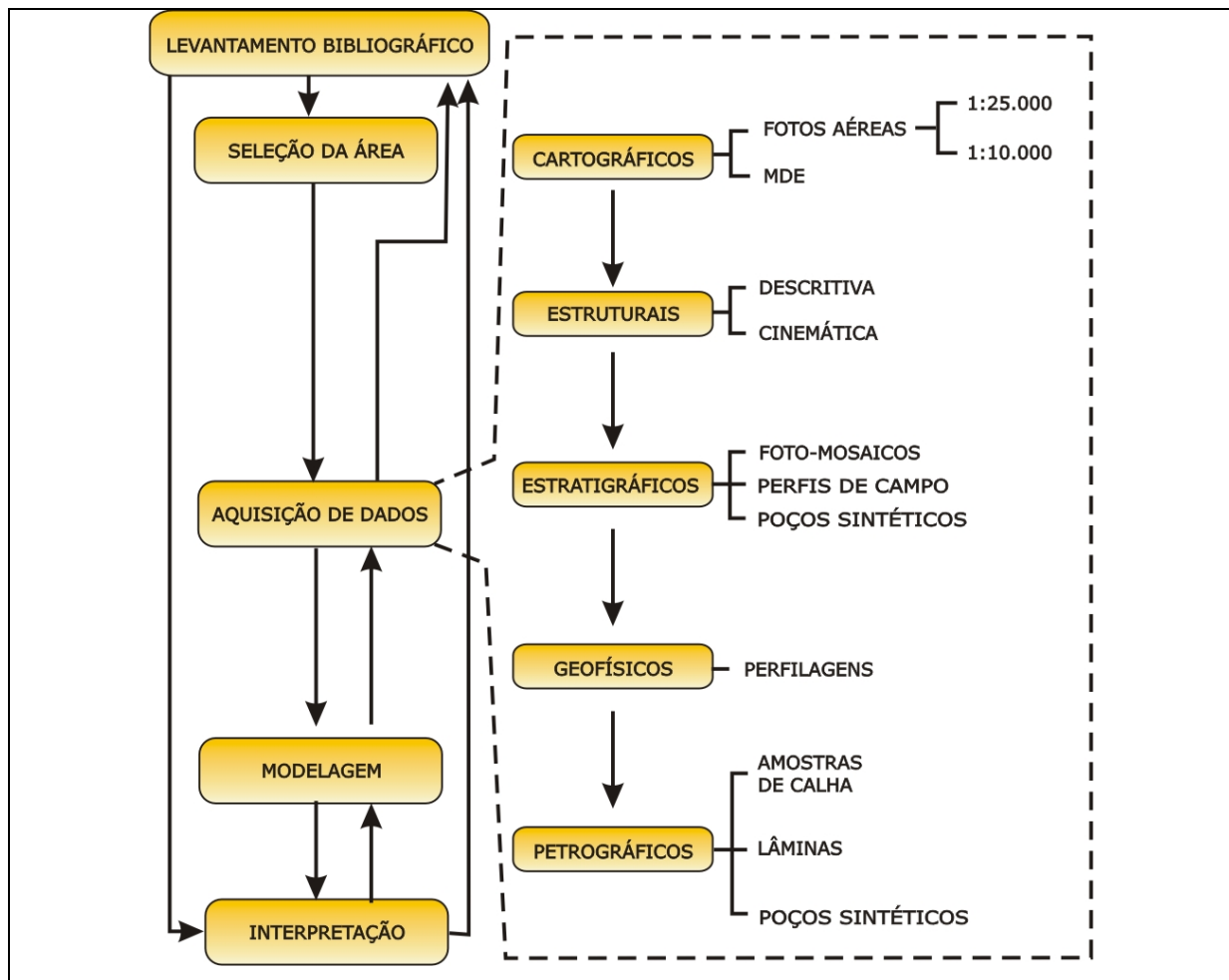


Figura 03 – Organograma das atividades desenvolvidas

2.2.1. Seleção da Área

A escolha da Fazenda Rivadávia como área de estudo para o projeto MODRES teve como critérios os seguintes:

- Ser área análoga a reservatórios de hidrocarbonetos;
- Ter expressivos intervalos arenosos aflorantes (rocha reservatório), intercalados com pacotes de folhelhos e diamictitos (rochas selantes);
- Boas continuidades laterais e verticais de rochas aflorantes;
- Ter forte condicionante estrutural;
- Pouca vegetação;
- Topografia favorável aos trabalhos geofísicos;
- Facilidade de acessos.

2.2.2. Fotos Aéreas

Inicialmente foram obtidas fotos aéreas nas escalas 1:25.000, de modo que houvesse não somente o recobrimento local da área específica de estudo, mas também que fosse possível abranger adjacências que de uma forma ou outra pudessem ter interação com a área de detalhe. Estas foram escanerizadas, perfazendo um banco digital de imagens individuais, mas também foram unidas com o uso do software PanaVue, e georreferenciadas com o programa Didger.

Um trabalho de foto-interpretação foi feito, com o traçado de elementos principais como lineamentos e quebras de relevo. Buscando um refinamento e mesmo um detalhamento no traçado de alinhamentos existentes e não visíveis em fotos 1:25.000, foi contratado junto a empresa AEROSAT – Arquitetura Engenharia e Aerolevantamento Ltda, num vôo realizado em dezembro de 2002, fotos aéreas em escala 1:10.000.

A aquisição de fotos aéreas nesta escala de detalhe foi de grande importância, pois além de revelarem feições não observadas em fotos de menor resolução (figura 04), serviu como uma imagem base para o reconhecimento de estruturas em campo, além de servir como suporte para os serviços de topografia e reconstituição do terreno, locação de sondagens e poços rasos. Cabe ressaltar que ambas as fotos da referida figura foram escanerizadas com uma resolução óptica de 600 x 600 d.p.i. (*dots per inch* ou pixel por polegada).

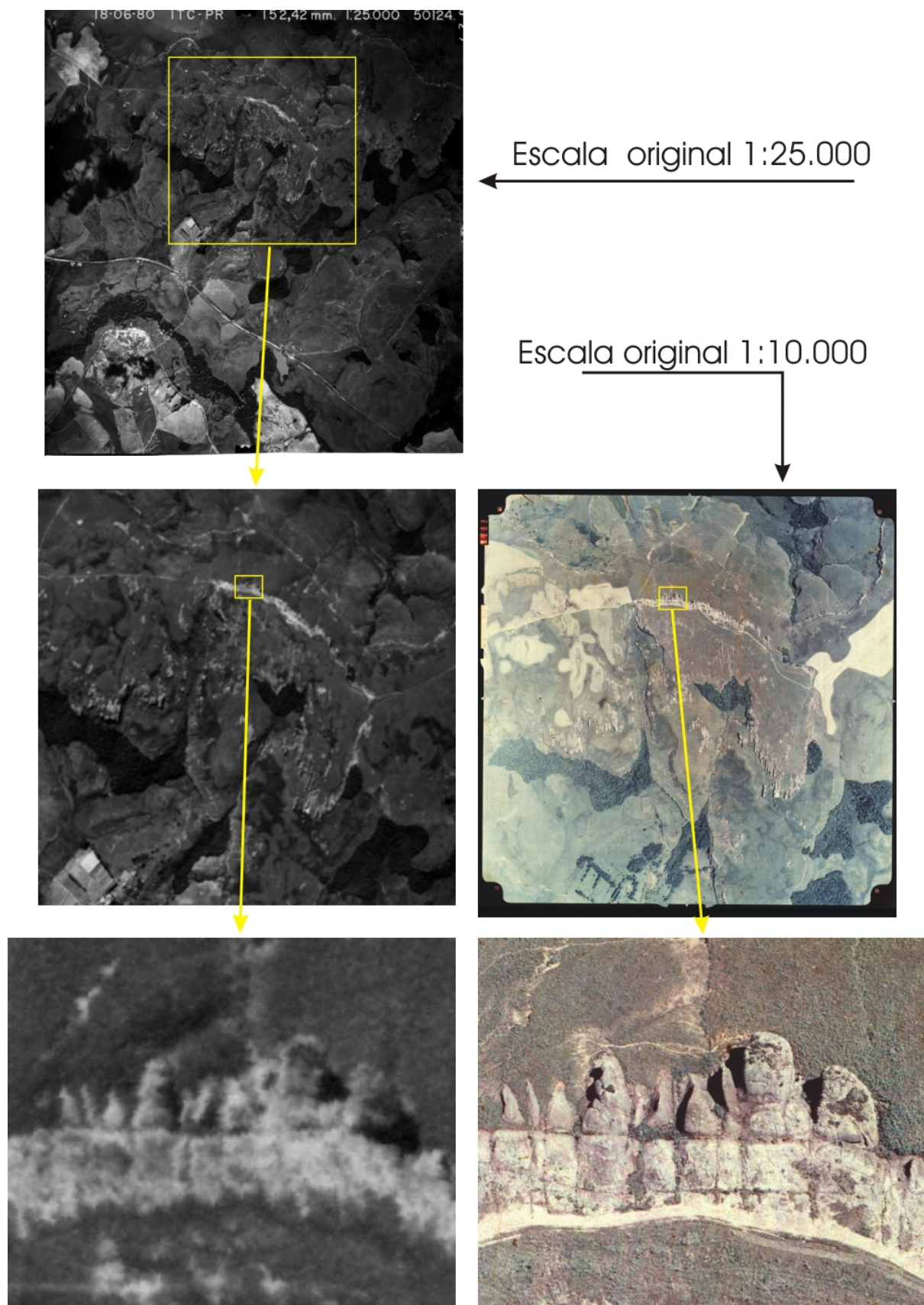


Figura 04 – Diferentes graus de detalhes obtidos entre ampliações de fotos aéreas em escalas 1:25.00 e 1:10.000.

2.2.3. Vetorização do Relevo

Consistiu em representar em meio digital as feições da morfologia do terreno, de modo tridimensional, de forma que as variações topográficas fossem facilmente identificadas, como vales e cristas orientadas, além da possibilidade da individualização de compartimentos geomorfológicos distintos.

Os trabalhos de vetorização do relevo foram realizados em duas etapas, sendo uma inicial na escala 1:50.000 e outra, de detalhe, na escala 1:10.000.

Escala 1:50.000

Como um procedimento de representação regional da topografia do terreno, envolveu a digitalização parcial das cartas topográficas de escala 1:50.000 de Ponta Grossa, Palmeira, Quero-Quero e Itaiacoca.

Para a digitalização seguiu-se passos com o uso do programa AutoCAD R14, que consistiu na importação de imagens a serem digitalizadas, posteriormente georreferenciadas através do comando *Align* do próprio programa, passando-se a digitalização propriamente dita, criando-se *polylines* (figura 05) com o valor Z de elevação da respectiva curva.

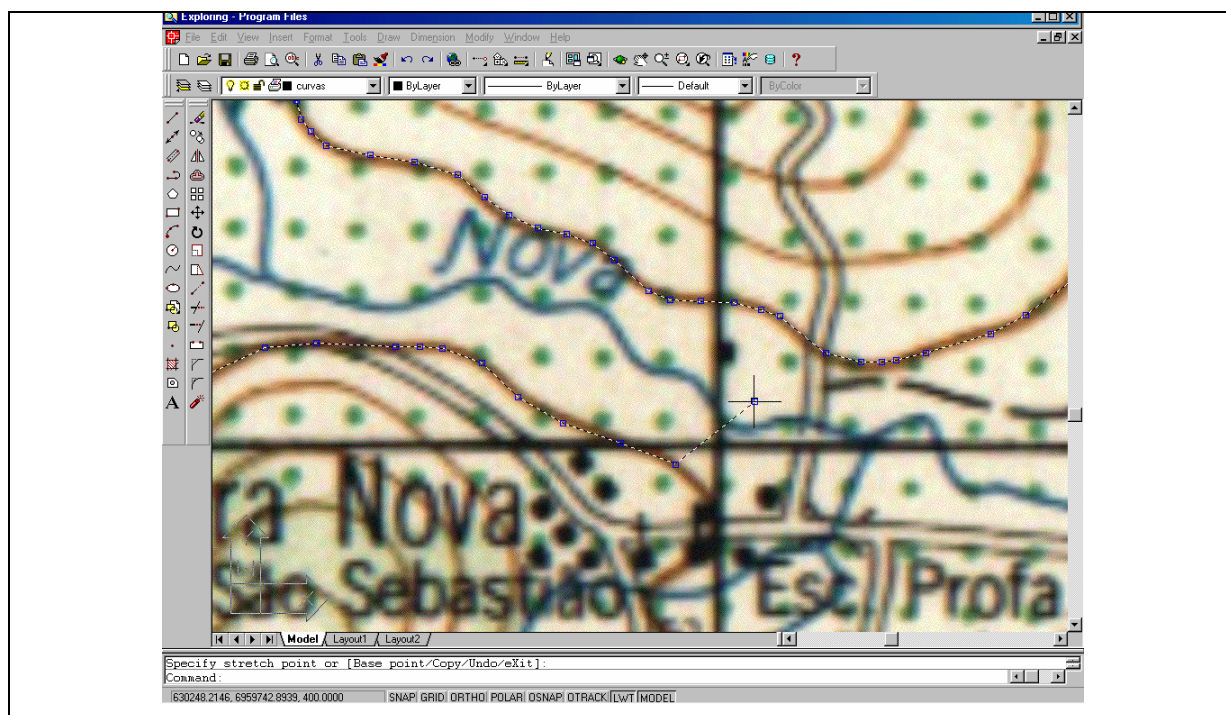


Figura 05 – Captura de tela mostrando a digitalização de curvas de níveis.

As *polylines* digitalizadas foram salvas como arquivos .dxf e transformadas em pontos vetorizados, com a geração de arquivo de extensão .xyz através de programa *freeware*, conhecido como DXF2XYZ (figura 06).

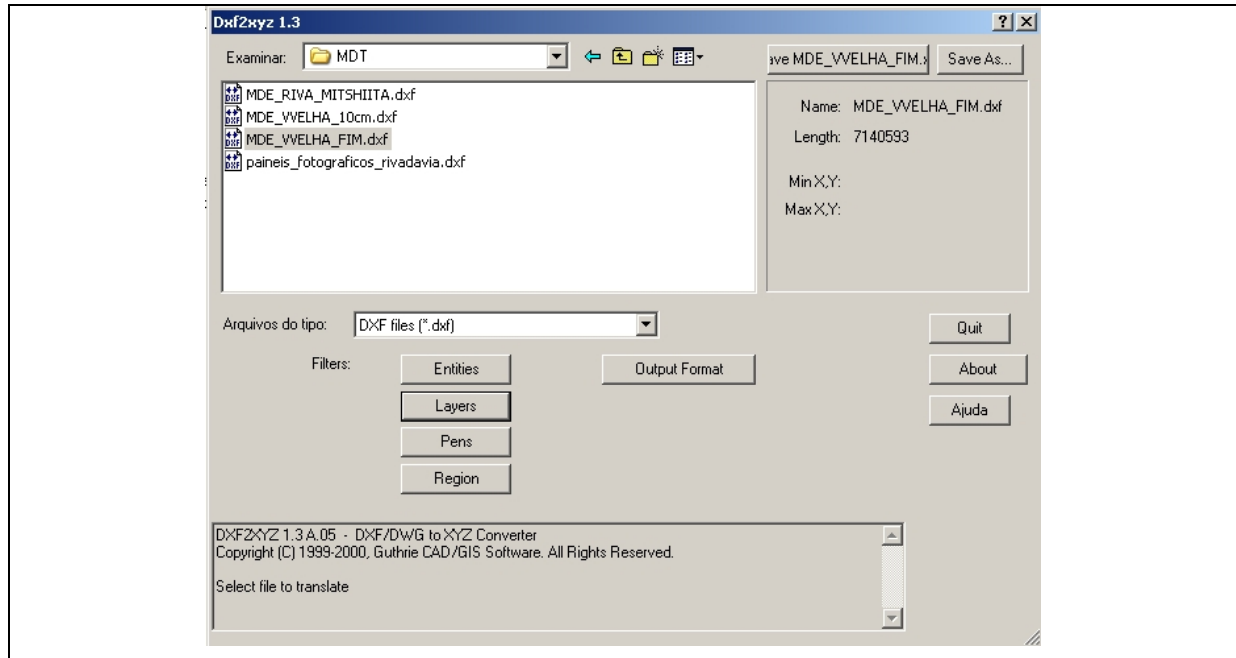


Figura 06 – Captura de tela mostrando o uso do programa DXF2XYZ.

Gerou-se então grides (ou grades), que são malhas de pontos com valores ponderados em locais sem informações, com base em pontos de valores conhecidos. Nos trabalhos desenvolvidos optou-se por utilizar como método interpolador a krigagem.

No programa Surfer 8.0 a geração desses grides de interpolação foi realizado através da ferramenta *Grid*, onde abre-se uma caixa na qual deve ser selecionado a opção *Data*, abrindo conseqüentemente uma caixa de diálogo na qual escolhe o arquivo .xyz em questão. Por fim abre-se a janela *Grid Data* permitindo a configuração dos parâmetros de krigagem, como por exemplo, o espaçamento entre as linhas do gride, conforme visualizado através da figura 07. Nesta etapa regional foi utilizado o valor de 20 metros para o espaçamento entre os pontos do gride, tanto na direção x quanto para y.

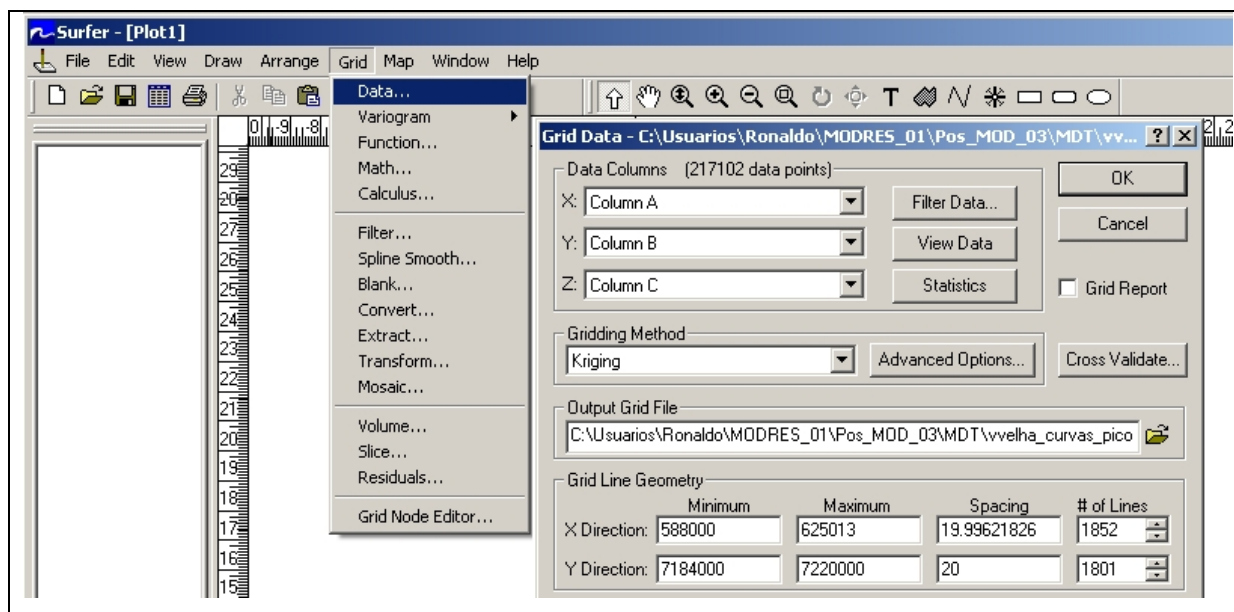


Figura 07 – Caixa de diálogo mostrando os parâmetros para a geração do gride no programa Surfer 8.0

Escala 1:10.000

Devido ao tamanho relativamente pequeno do principal platô da fazenda Rivadávia (área de maior interesse na pesquisa), as cartas topográficas em escala 1:50.000 não foram suficientes para delimitar e vetorizar pequenas variações na topografia do relevo, uma vez que estas possuem equidistância entre curvas de nível de 20 metros, e este referido platô quando muito possui variações de relevo na ordem de 14 metros. Desta forma, para se poder vetorizar o relevo com grande grau de detalhamento, foi desenvolvido um trabalho em parceria com o Departamento de Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, onde se utilizou as já mencionadas fotos aéreas 1:10.000.

Assim, numa base topográfica de coordenadas conhecidas, localizada na entrada de um posto no Km 512 da BR 376 sentido Curitiba – Ponta Grossa, um GPS diferencial (*Global Position System*) capturou leituras de coordenadas UTM e valores de altitudes fornecidas por satélites, ao mesmo tempo em que um outro aparelho GPS, porém este segundo localizado junto a uma cerca dentro da fazenda Rivadávia. Após, o GPS que estava na entrada do posto foi transportado para a junto da mencionada cerca, e com o uso do segundo GPS foram obtidas coordenadas e altitudes de feições selecionadas na fotografia aérea e reconhecíveis em campo. O uso deste equipamento permitiu a minimização dos erros de posicionamento existentes quando apenas utilizados os denominados GPS “de mão”.

Posteriormente, foram perfilados pontos sobre a foto aérea, gerando uma grade irregular espaçada de aproximadamente 10 metros, com valores de coordenadas x, y e z.

Essas informações foram reamostradas com o uso do programa Surfer 8, seguindo os mesmos passos utilizados em escala regional, porém com espaçamento entre os pontos da malha de 3 metros.

2.2.4. Caracterização Estrutural

Os trabalhos voltados para a caracterização estrutural envolveram escalas de grandezas diversas, partindo de uma contextualização regional até chegar ao nível de detalhe.

Dessa forma, inicialmente foram traçados alinhamentos estruturais sobre os modelos regionais de terreno, que foram feitos a partir de uma base topográfica de cartas 1:50.000, tendo como base a rede de drenagem. Foram filtradas visualmente as quais seriam possíveis fraturas entre as várias direções de cursos de água, de forma que apenas segmentos retilíneos e repetitivos foram traçados.

Mapear adequadamente as fraturas existentes em nível de detalhe, bem como relatar suas características e inter-relações geométricas, fornecem, entre outras coisas, subsídios para compreender possíveis compartimentações em unidades preferenciais de fluxo hidrodinâmico. Assim, descontinuidades evidentes em uma base foto-geológica em escala 1:2.000 (ampliação de foto aérea 1:10.000) foram reconhecidas em campo. Para cada um desses planos de fraturas foram designados números de identificação, com os quais foi possível estabelecer um posterior controle espacial das mesmas. Informações descritivas de cada plano de descontinuidade foram relatadas, como a existência e o tipo de materiais de preenchimentos, onde muitas vezes o preenchimento ocorria associado à banda de deformação, apresentando saliências no relevo devido a maior resistência ao intemperismo fornecido pelos óxidos de ferro, com relação às rochas não deformadas. O grau de continuidade em extensão das fraturas é associado às ordens de grandezas, de forma que esta característica também mereceu ser relatada. Outras características como valores em unidades métricas de aberturas, frequências, espaçamento, além de classificação quanto ao grau de rugosidade e sinuosidade da direção do plano, foram adicionados à mesma planilha de campo.

Além do mapeamento direto em campo foram traçadas, diretamente sobre a esta mencionada fotografia aérea, as fraturas visíveis no limite de resolução da imagem disponível.

Entretanto, inúmeras fraturas de menores ordens de grandeza são identificáveis em campo, porém sem serem visíveis sobre a foto aérea ampliada. Buscando verificar se existem os mesmos padrões de direções de estruturas, foram selecionadas pequenas porções aflorantes, as quais tiveram as superfícies fotografadas, passando por um processo de montagem de pequenos mosaicos que representassem cerca de 1,25 x 1,25 metros do terreno, posteriormente orientados espacialmente, e por fim, sendo traçado as fraturas existentes.

Tanto as atitudes do mergulho de planos medidos em campo, quanto os alinhamentos traçados sobre as imagens em diversas escalas, foram convertidos em planilhas e representados em forma de mapas e diagramas em rosetas, com o uso do programa Rockworks 2004.

Já as informações em escala microscópica tiveram origens nos trabalhos de Trzaskos-Lipski *et al.* (2003), onde estes autores caracterizaram as bandas de deformações presentes na área de estudo, que exibiram grãos fraturados e/ ou cominuidos.

2.2.5. Foto-Mosaicos de Afloramentos

As confecções de foto-mosaicos de afloramentos foram feitas para servir de base para estudos da distribuição lateral de fácies, em nível de afloramento. Estas atividades foram desenvolvidas em parceria com o Departamento de Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, na forma de um subprojeto denominado “Desenvolvimento de Técnicas de Obtenção de Informações Geológicas subsidiadas por Fotogrametria”.

As gerações destes mosaicos foram realizadas seguindo um procedimento onde, com o uso de câmera digital dotada de resolução de 4 mega-pixel, foram adquiridas fotos de forma a se ter um recobrimento total da principal escarpa aflorante (figura 08). Uma distância média de 25 metros entre o fotógrafo e o objeto fotografado foi mantida, de forma que aproximadamente 70 fotos foram necessárias para o recobrimento de aproximadamente 1000 metros de escarpa. As fotos foram unidas com o uso do programa PanaVue, resultando nos referidos mosaicos. As

distorções existentes nas fotos, como a falsa impressão de afinamento e espessamento de camadas de rochas, e superfícies aparentemente curvas, que na verdade são efeitos da variação na profundidade, foram corrigidas no contexto do subprojeto citado (figura 09). Esta retificação envolve em linhas gerais, corrigir estas distorções causadas pelo relevo; localização do ponto de aquisição da imagem (inclinação da câmera); e distorções ópticas do instrumento utilizado, gerando no final, uma imagem próxima à realidade (figura 10).

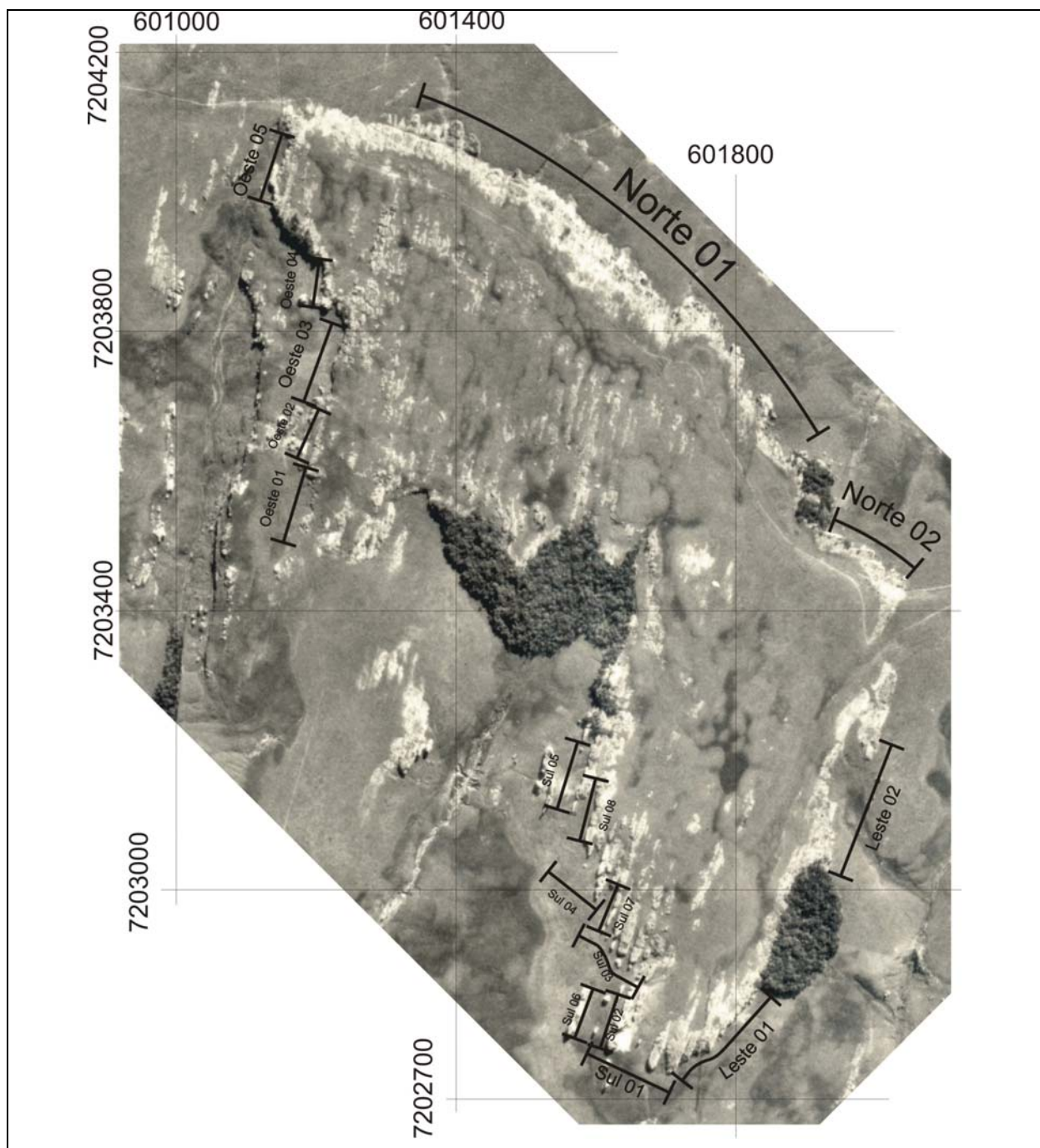


Figura 08 – Localização dos painéis fotográficos.

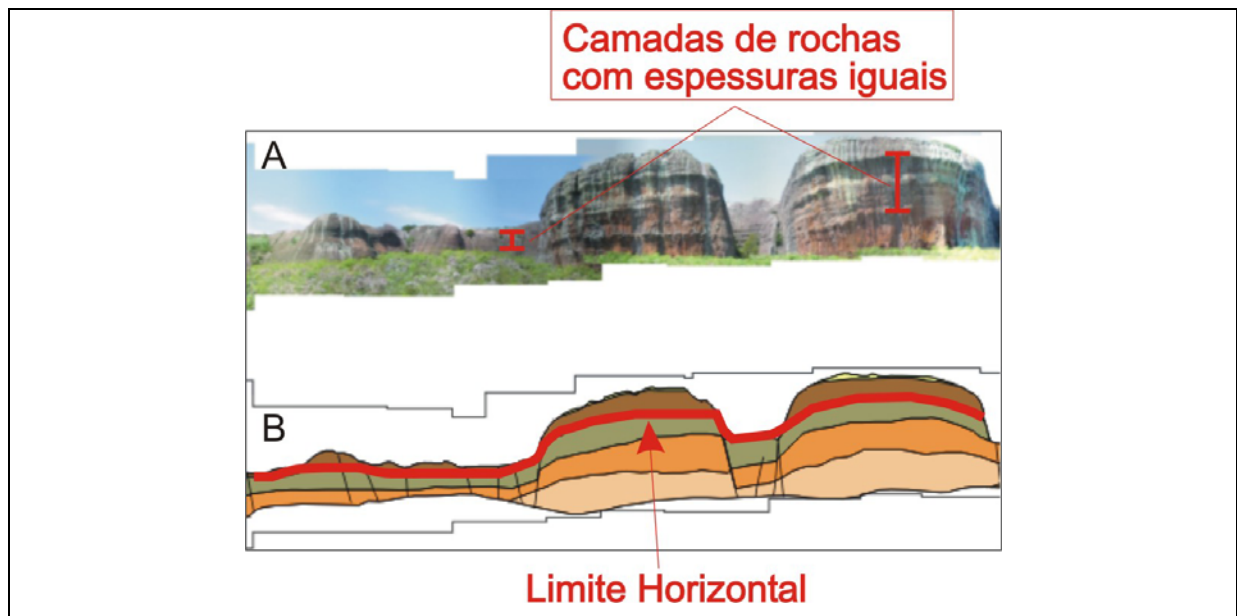


Figura 09 – Exemplos de detalhes distorcidos em mosaicos não corrigidos.

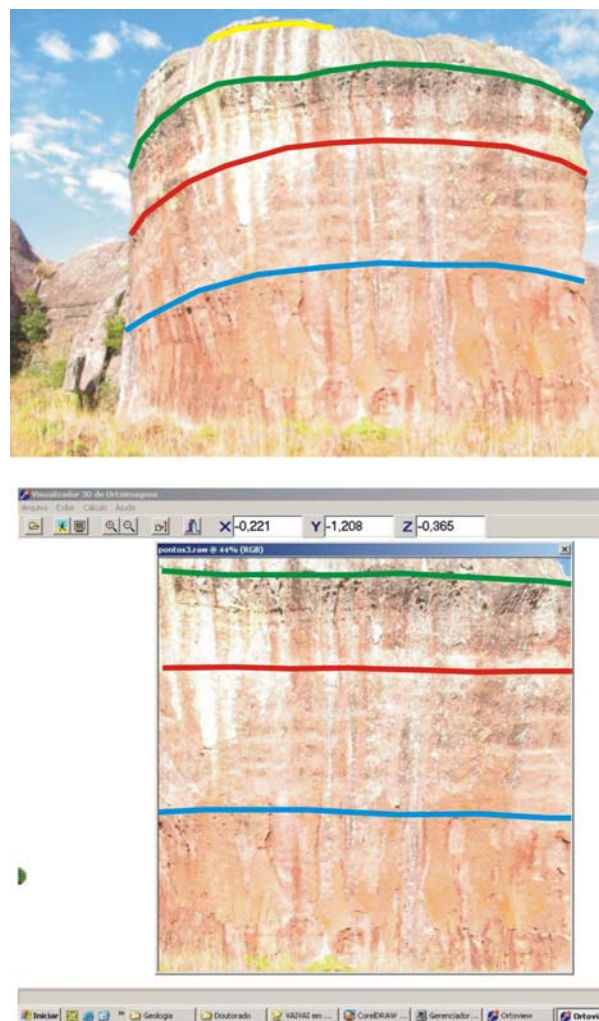


Figura 10 – Detalhe de ortorectificação de fotos de afloramentos.

2.2.6. Poços Tubulares e Sondagens

As aquisições de dados de subsuperfície tiveram como origem dados de poços tubulares e sondagens com recuperação contínua de testemunhos. Os primeiros forneceram amostras de calha e também serviram para a realização de perfilagens geofísicas, enquanto que as sondagens foram úteis para a descrição das rochas em subsuperfície, a delimitação e a caracterização de fácies, além da confecção de lâminas petrográficas para a caracterização da permo-porosidade. As profundidades atingidas foram variadas (tabela 01), devido a fatores como instabilidade das paredes dos furos, ou níveis argilosos que impediram a continuidade das perfurações. Como critério de locação destes poços (figura 11) foi considerado o conhecimento sobre as direções preferenciais de deposição, que são aproximadamente SE-NW.

SIGLA	NATUREZA	PROFUNDIDADE
2-RIV-001-PR	Poço Tubular	84 m
2-RIV-003-PR	Poço Tubular	30 m
2-RIV-004-PR	Poço Tubular	104 m
2-RIV-005-PR	Poço Tubular	69 m
2-RIV-006-PR	Poço Tubular	176 m
2-RIV-007-PR	Poço Tubular	136 m
TR-01	Sondagem com testemunho	59.82 m
TR-02	Sondagem com testemunho	21 m

Tabela 01 – Poços e sondagens efetuados na Fazenda Rivadávia.

Foram utilizados seis poços tubulares, sendo cinco realizados exclusivamente para o desenvolvimento do projeto MODRES, e um já existente. Estes poços foram executados com diâmetro de abertura de seis polegadas, com o uso de máquina roto-pneumática de empresa especializada na atividade de poços tubulares para água. O valor de seis polegadas como diâmetro foi devido ao fato de que as ferramentas de perfilagens geofísicas necessitaram dessa abertura, podendo assim ser introduzidas nos furos sem eventuais problemas de acoplamentos.

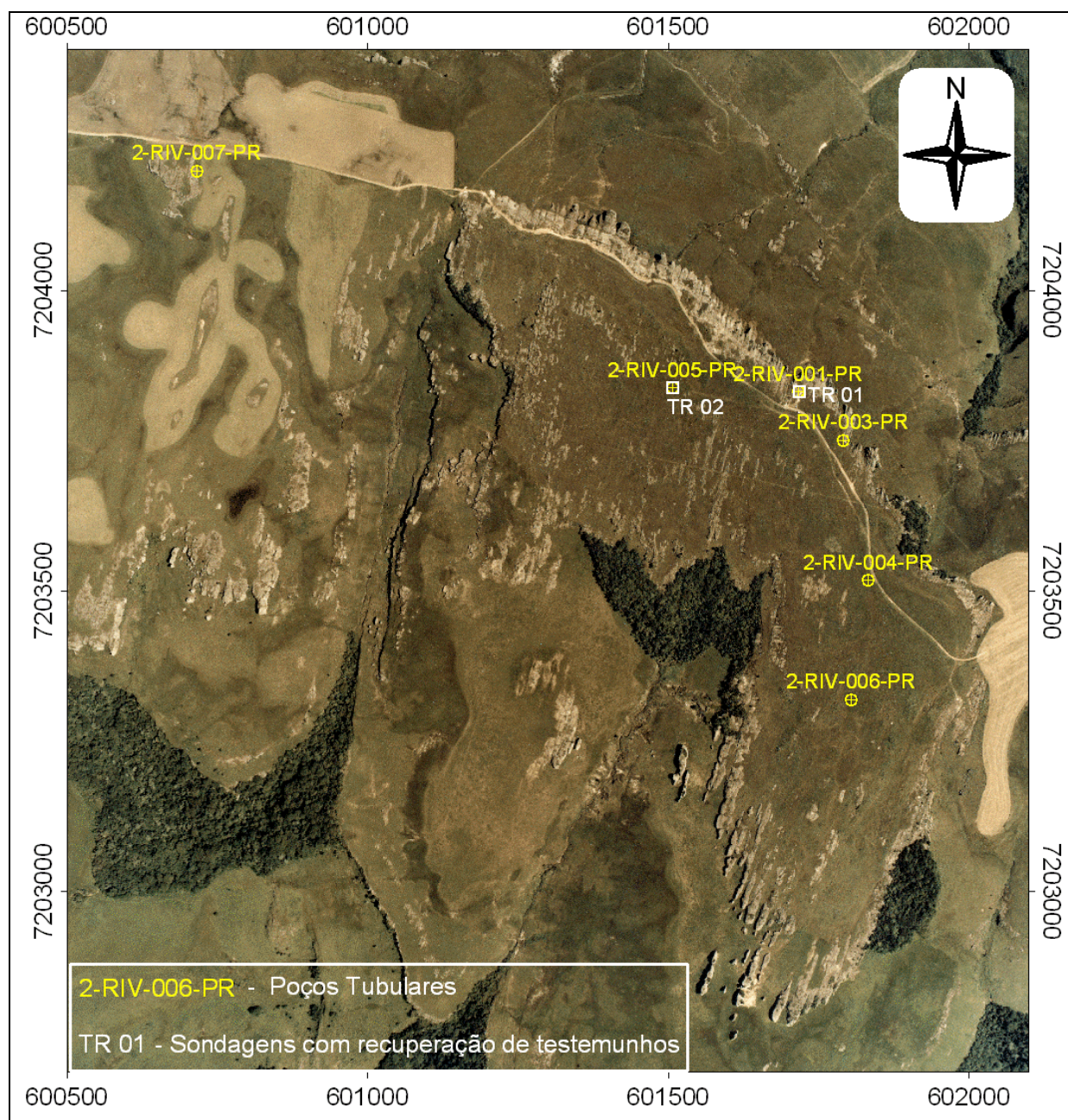


Figura 11 – Localização dos poços perfurados.

Foram realizadas duas sondagens com recuperação de testemunhos com diâmetro de 2", sendo um dos serviços contratados junto à empresa especializada nesta atividade (figura 12), e a outra realizada em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (figura 13). O critério de locação dessas testemunhagens foram as proximidades com poços tubulares existentes e perfilados, de modo que pudessem ser diretamente correlacionados. Na sondagem denominada TR-01, que atingiu maior profundidade do que o TR-02, houve um valor de recuperação final dos testemunhos na ordem de 65,93%. Levando em consideração que a não-recuperação ocorreu em intervalos predominantemente

argilosos, aceitou-se como sendo representativos da seqüência arenosa existente em superfície.



Figura 12 – Sondagens realizadas por empresa contratada - (a) máquina utilizada; (b) detalhe do furo.

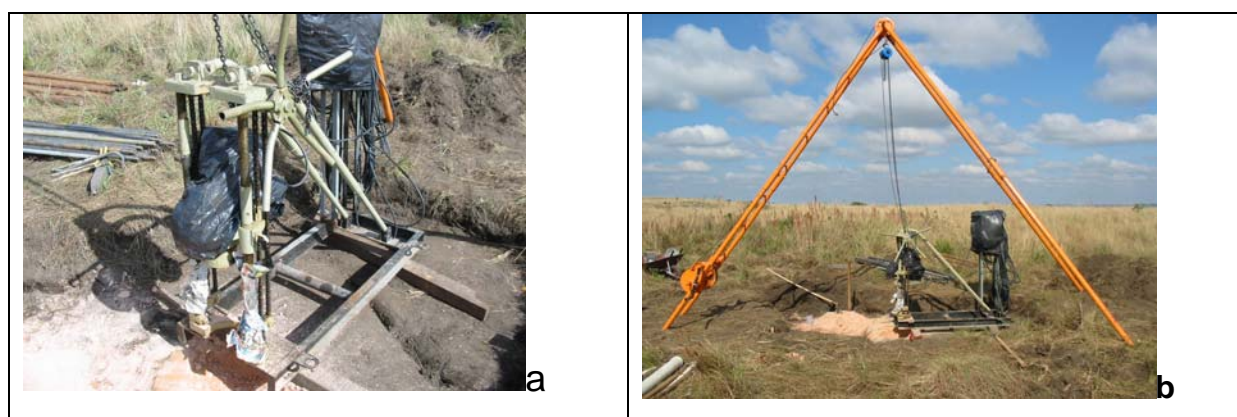


Figura 13 – Trabalhos de sondagens realizadas pela UFRJ- (a) detalhe do equipamento; (b) estrutura completa de perfuração.

Os testemunhos obtidos foram descritos e fotografados. As seções delgadas e os ensaios petrofísicos foram realizados em intervalos representativos das fácies arenosas descritas na área. Com respeito às texturas e estruturas sedimentares registradas devido ao padrão deposicional, alguns detalhes destas podem ser observadas na figura 14.

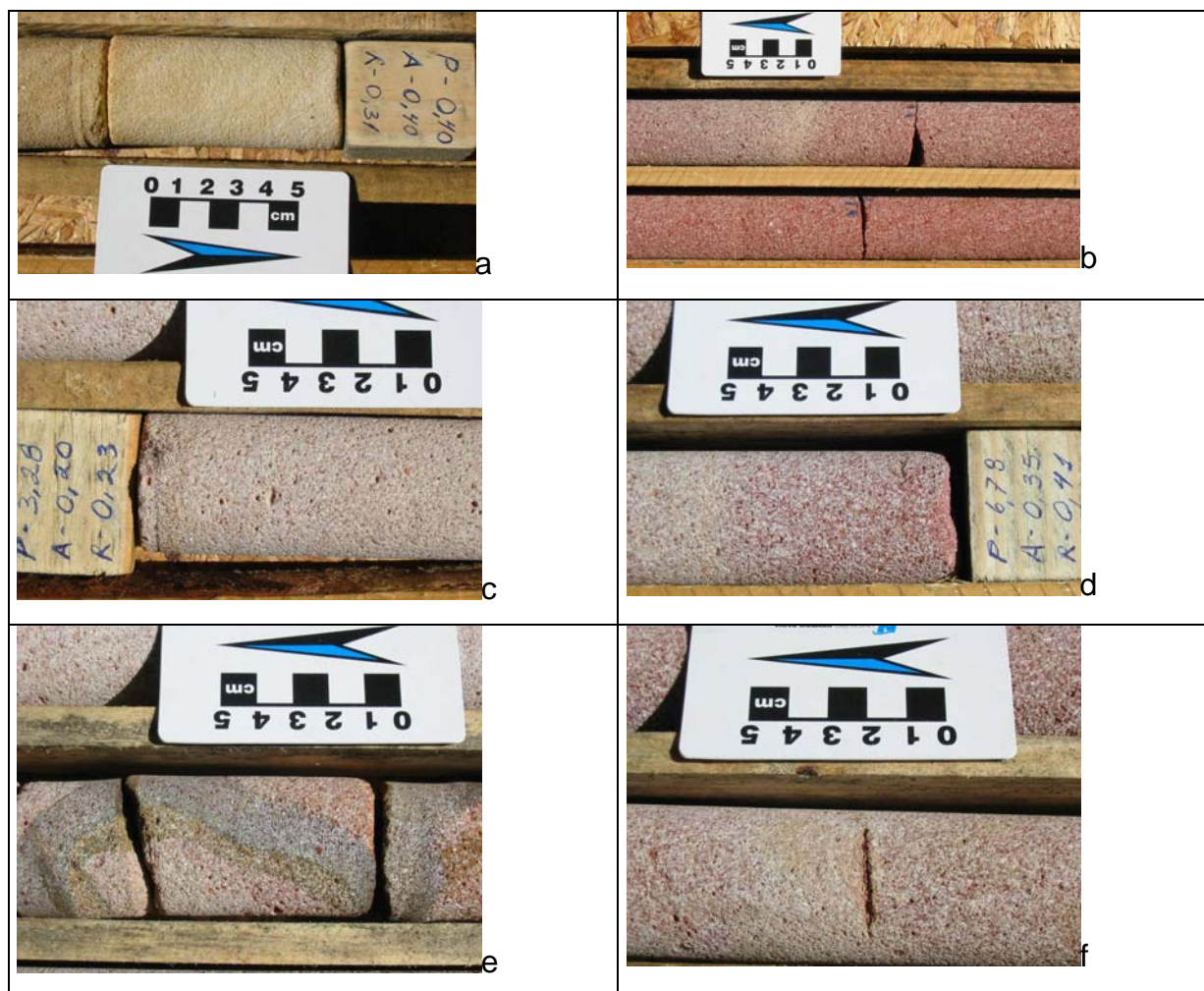


Figura 14 – Detalhes dos testemunhos de sondagens A seta indica o topo. (a) percolação de água; (b) estratificação cruzada; (c) intervalo com seleção baixa; (d) gradação normal; (e) concentração de óxidos de ferro; (f) clasto de argila.

2.2.7. Perfilagens Geofísicas

As perfilagens geofísicas de poços permitem extrair valores quantitativos de certos atributos das rochas, e, entre muitos dos ensaios disponíveis atualmente no mercado, foram escolhidos alguns que foram úteis para o desenvolver desta pesquisa. Os tipos de perfis lidos foram raios-gama, eletro-resistividade, micro resistividade, potencial espontâneo, e sônico. Segundo Nery (2000), o perfil de raios gama é um dos melhores indicadores litológicos, e em rochas sedimentares, com exceção dos evaporitos, os folhelhos são as litologias mais radioativas. Assim, este tipo de perfil foi utilizado principalmente para a delimitação de intervalos de arenitos, folhelhos, argilitos e diamictitos, sempre complementados por informações de campo e de amostras de calhas dos poços. Os perfis sônicos, que são o registro do tempo

de trânsito necessário para uma onda acústica de frequência de 20.000 Hz atravessar um meio rochoso, tiveram importante contribuição para a estimativa de valores de porosidade.

Os trabalhos de perfilagens geofísicas foram feitos nos seis poços tubulares existentes, por empresa especializada em perfilagens de poços de água, e devido a fatores ambientais, não foram lidos perfis referentes a valores de densidade, pois um acidente durante o ensaio poderia comprometer o aquífero da região.

Os procedimentos para as leituras dos perfis geofísicos incluíram inicialmente calibrar a ferramenta para leitura de raios-gama com o *background* de raios-gama do local, para isso, a ferramenta foi deixada alguns minutos exposta no ambiente, com um sensor especial acoplada a ela, calibrada a 230 API (figura 15).

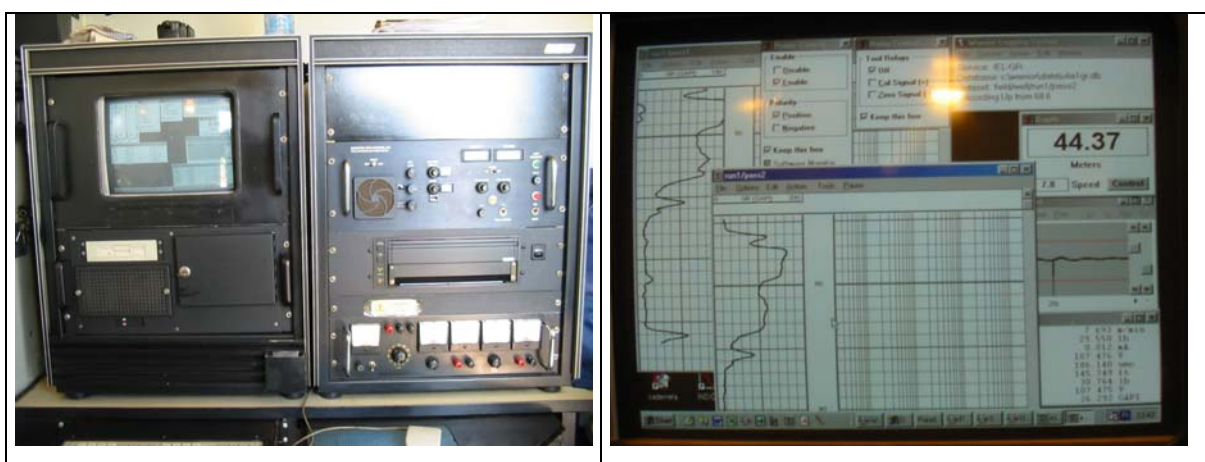


Figura 15 – Foto mostrando a calibração da ferramenta utilizada para a leitura de raios-gama.

Por um sistema de cabos especiais (um cabo de aço, com sete cabos internos ligados às ferramentas), a ferramenta foi descida no interior do poço sem água (Figuras 16a e 16b). Após alcançar o fundo do poço, lentamente era içada e feita a leitura. Alcançando a boca do poço, descia-se novamente a ferramenta, e em nova subida obteve-se os valores captados pelos sensores. O resultado era visualizado de forma direta em gráficos num programa especial desenvolvido pela empresa Hydrolog (figuras 17a e 17b).

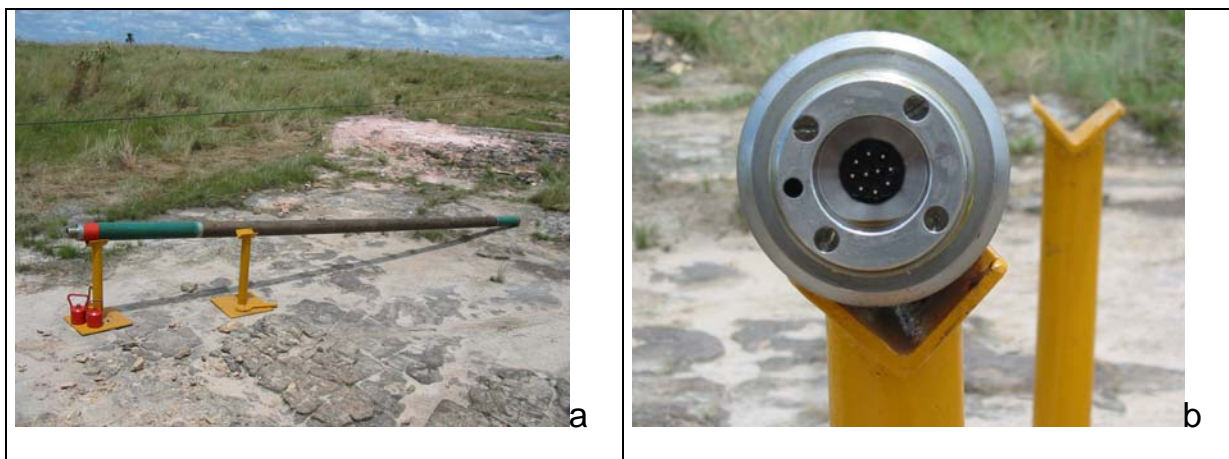


Figuras 16a e 16b – Montagem e execução de perfilagem geofísica.



Figuras 17a e 17b – Leituras da perfilagens geofísicas.

Após, outros perfis foram lidos, cada qual com uma ferramenta específica, como resistividade e normal curta (figuras 18a e 18b) e sônico (figuras 19a e 19b), porém, o sônico necessitou da presença de água para ser feito (figura 20). Um problema enfrentado neste aspecto foi o fato de que nos poços 2-RIV-01-PR e 2-RIV-05-PR, não foi possível manter um nível de água suficiente, pois estes encontram-se em uma área muito fraturada, o que pode ter contribuído para esta perda de água. Os perfis lidos são apresentados na figura 21.



Figuras 18a e 18b– Ferramenta utilizada para a leitura de perfis de resistividade.



Figuras 19a e 19b – Ferramenta utilizada para a leitura de perfil sônico.



Figura 20 – Utilização de água para a execução das perfilagens geofísicas.

POÇOS PERFILADOS NA FAZENDA RIVADÁVIA

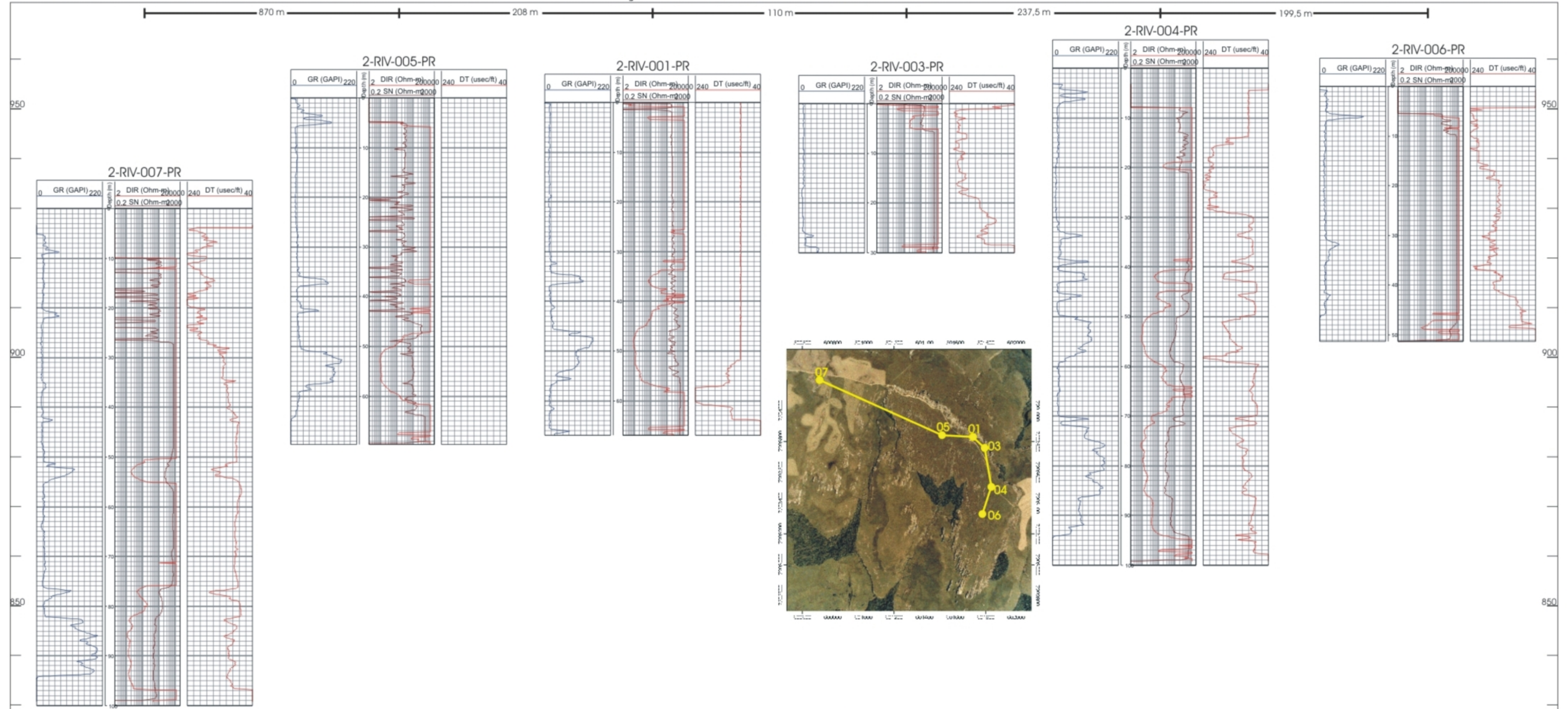


Figura 21 - Perfis geofísicos e localização dos poços utilizados.

2.2.8. Análises Granulométricas

As informações obtidas através de análises granulométricas dos intervalos de rochas arenosas, com frequência vertical de amostragem a cada 1 metro, serviram para quantificar valores de atributos texturais, como a distribuição granulométrica e graus de seleção das amostras ao longo das diferentes profundidades.

Estas análises seguiram um procedimento laboratorial onde amostras de calhas, previamente desagregadas, foram colocadas individualmente em um conjunto de peneiras de tamanhos diversos, acopladas entre si de forma a constituir uma seqüência de aberturas de suas malhas, onde a que possui a maior abertura é colocada no topo da seqüência, diminuindo para a base até a última, sem malha, apenas para a retenção das frações mais finas. Todo processo de peneiramento ocorreu a seco, sendo que esta pilha de peneiras foi colocada sobre um vibrador elétrico, que facilitou a movimentação vertical das partículas ao longo das malhas. Seguindo a classificação granulométrica de Wentworth (1922), foi trabalhado com as seguintes aberturas de malhas em unidade de milímetro: 2.000, 1.410, 1.000, 0.707, 0.500, 0.354, 0.250, 0.177, 0.125, 0.088, 0.062 e uma base final sem malha, abrangendo, assim, frações desde areia muito grossa até areia muito fina, agrupando as frações siltico-argilosas como uma única classe, sem diferenciação. A representação direta destes valores foi feita na forma de curvas de frações granulométricas e também como diagramas em barras.

Além disso, os valores obtidos foram inseridos em planilhas e, com o uso do programa *SysGran*, foram calculados valores de graus de seleção e de granulometrias médias. Posteriormente estas informações também foram representadas graficamente como curvas e transformadas em poços sintéticos no programa *Rockworks*. Com a interpolação de valores destes poços sintéticos, geraram-se sólidos tridimensionais, diagramas em cerca e seções longitudinais.

2.2.9. Caracterização Petrográfica e Petrofísica

As caracterizações petrográficas e petrofísicas forneceram informações descritivas e quantitativas das rochas, tanto a nível aflorante quanto em subsuperfície. Para isso, as amostras de afloramentos e de testemunhos de sondagens passaram por um processo para a preparação de lâminas, onde

pequenos cubos de aproximadamente 4 cm³ (dimensões de 1X2X2 cm) foram secos em estufas por um período de 24 horas, posteriormente impregnados com corante azul sob o efeito de vácuo, para que os poros existentes na rocha fossem preenchidos. Após, foram confeccionadas um total de 16 lâminas no laboratório de laminação da Universidade Federal do Paraná.

2.2.9.1. Petrografia

As lâminas obtidas foram descritas com o uso de microscópio óptico de luz transmitida e MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) por Bocardi *et al.* (2003), onde foram observadas características quanto aos constituintes mineralógicos, relações de contatos e formas dos grãos, grau de seleção granulométrica, tamanho de grãos, existência de matriz, tipo de cimento, e maturidades texturais e mineralógicas.

2.2.9.2. Porosidade

Os valores de porosidade foram obtidos através de três técnicas, sendo elas: análise de imagens binárias de lâminas; estimativa através de perfis sônicos de poços; e ensaios físicos laboratoriais.

Análise de imagens binárias de lâminas

Depois de descritas as 16 seções delgadas foram fotografadas, e as imagens resultantes passaram por um processo de binarização de cores com o uso do programa Imago (figura 22). A binarização consiste em discretizar as cores referentes aos poros dos tons das cores referentes ao arcabouço e cimento e, no caso, as imagens resultantes exibiram tons brancos para os poros, e preto para os que não são poros.

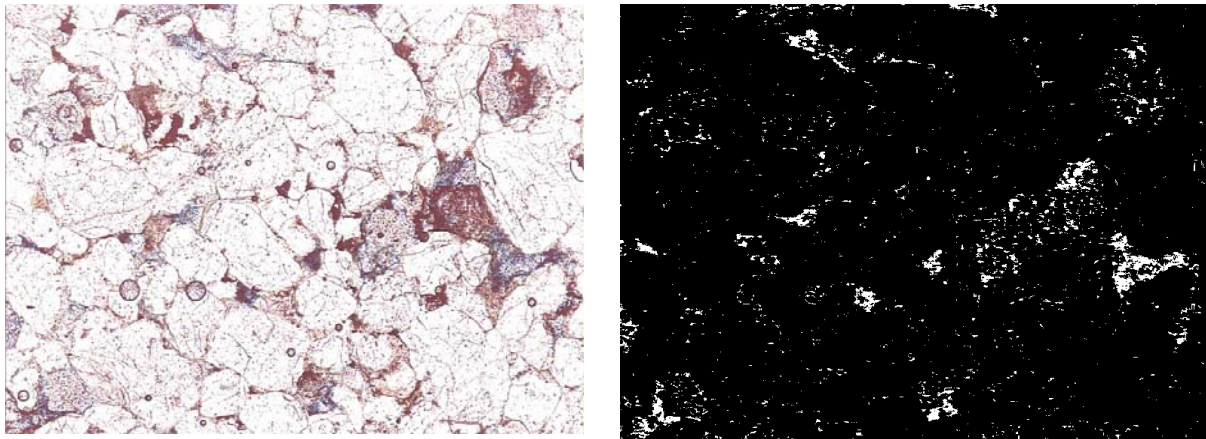


Figura 22 - Exemplo de foto-micrografia, mostrando os poros em azul (a), e imagem binarizada resultante (b).

As medidas de áreas destas porções pretas e brancas foram calculadas, e as razões entre elas (preto/branco) definiram a porosidade total em unidade de porcentagem.

Ensaaios laboratoriais

Alguns valores de porosidade foram obtidos através de ensaios físicos laboratoriais em empresas especializadas, utilizando, como método quantitativo, a injeção de mercúrio em 22 fragmentos com aproximadamente 15 gramas de rocha. A seleção de amostras, limitada devido ao alto custo dessas análises, foi feita buscando serem correlatas às mesmas amostras das quais foram confeccionadas lâminas petrográficas.

Estimativas por perfis sônicos de poços

Estas estimativas foram feitas a partir dos valores de leituras de ondas sônicas obtidas com as perfilagens geofísicas dos poços tubulares, onde, por meio de equações específicas, foram calculados valores de porosidade referentes aos arenitos em subsuperfícies. Segundo Nery (2000), é possível estabelecer uma relação direta entre o tempo de trânsito de uma onda sonora em uma rocha, lido num perfil sônico, e sua porosidade. Assim, ao se considerar duas rochas semelhantes, aquela que contiver maior quantidade de líquido dentro de seus poros (maior porosidade) apresentará um tempo de trânsito maior do que aquele de menor

volume fluido (menor porosidade). Wyllie (1949) *apud* Nery (2000), estudando a correlação que existe entre o tempo de trânsito e a porosidade das rochas, demonstrou que esse perfil pode ser usado para a determinação da porosidade intergranular dos reservatórios com bastante sucesso.

Este cálculo é otimizado com o uso de software da própria empresa de perfilagem, porém, controlado manualmente a fim de se evitar equívocos sérios nos cálculos. Assim, assumindo que os valores nos perfis de raios-gama refletem o material rochoso investigado, foram individualizados intervalos preferencialmente arenosos em relação aos que continham grande contribuição de minerais argilosos. Após, os intervalos até 30 metros de profundidades cujos valores das leituras sônicas exibiram curvas com padrão heterogêneo foram descartados, pois não forneceram confiabilidade nas leituras. Uma vez delimitado os intervalos, parâmetros como a densidade média dos arenitos foi incluída nas equações, resultando em valores de porosidade calculados.

2.2.9.3. Permeabilidade

Os valores de permeabilidade também foram obtidos através de ensaios laboratoriais dos mesmos 22 fragmentos de arenitos sobre os quais foram calculadas suas porosidades. Neste caso um permeabilímetro foi utilizado para medir valores do escoamento potencial de fluxo ao longo dos poros interconectados em unidades de “*milidarcy's*.”

2.2.10. Poços Sintéticos

Um meio utilizado para a integração de informações de poços e afloramentos no análogo ao reservatório estudado, foi o uso de poços sintéticos ou pseudo-poços. Segundo Nielsen *et al.* (1999), o termo “pseudo-well” é utilizado como um ponto de informação compilada dentro de uma área, e não é um poço de locação real.

Nessa concepção, aqui serão utilizados como poços virtuais criados para representar atributos como propriedades petrofísicas (porosidade e permeabilidade), topo e base de fácies sedimentares, e valores de análises granulométricas, cuja posição espacial são as coordenadas e cotas da origem dessas informações.

O objetivo da criação destes poços sintéticos foi resultar num banco de dados com os quais foi possível realizar uma modelagem tridimensional, através da interpolação de valores, com a visualização de parâmetros geológicos em um ambiente comum.

As criações destes poços, interpolações de valores e a correlação entre eles foram feitas com o uso do programa Rockworks 2004. A figura 23 mostra exemplo de poços sintéticos criados utilizando-se dados qualitativos de estratigrafia, com as respectivas profundidades dos limites de fácies descritas em campo. Utilizando o módulo *Borehole Manager* do referido programa, foram designados nomes de controle para os poços, como, no caso apresentado, SR01, em seguida foram inseridas informações referentes à locação dos mesmos, como coordenadas UTM, cotas, e profundidades totais. Após estes procedimentos simples, já estava criado um poço sintético, em qual foram introduzidos valores de atributos diversos.

Com respeito as diferentes opções de correlações e representações de dados, a figura 24 ilustra a caixa de diálogo aberta para a opção *Stratigraphy*, que permite correlacionar dados de poços na forma de diagramas em cerca, sólidos, perfis, entre outros.

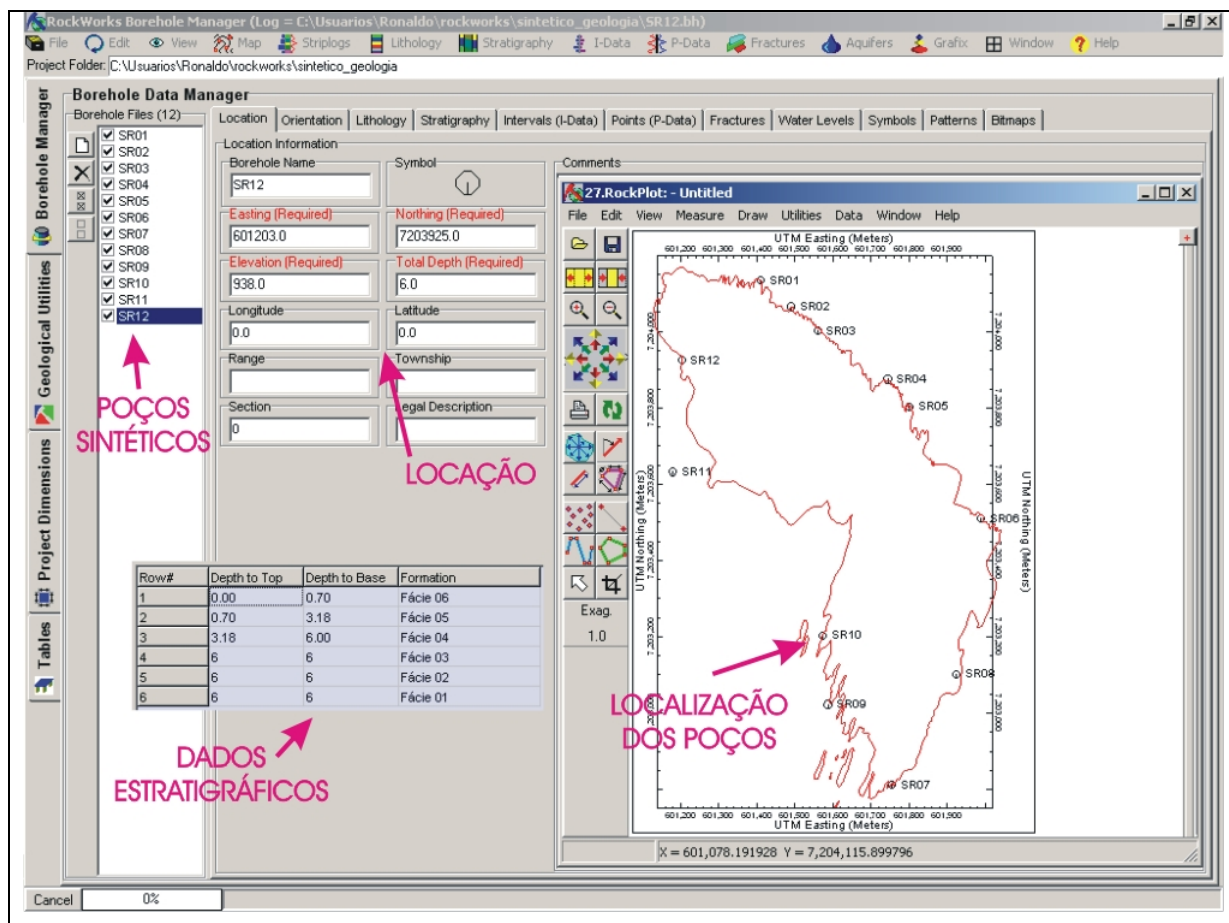


Figura 23 – Criação de poços sintéticos.

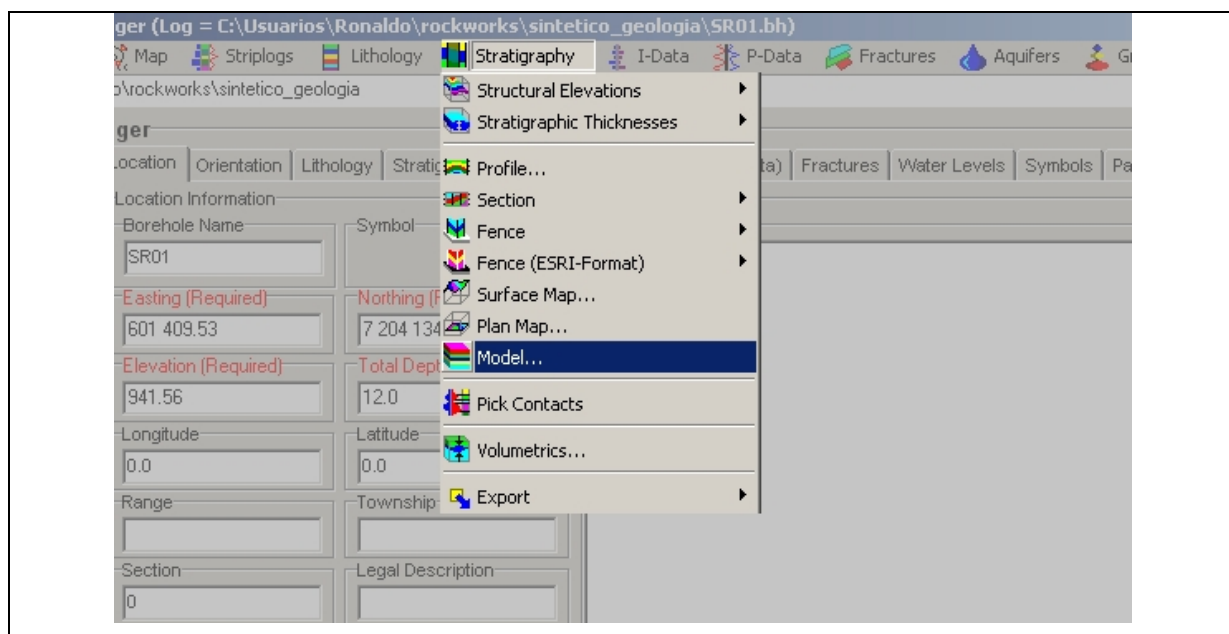


Figura 24 – Diferentes formas de correlações para atributos geológicos.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

Neste capítulo será discorrido sobre alguns aspectos da Bacia do Paraná, e o sistema petrolífero Ponta Grossa/Itararé, com ênfase especial ao Grupo Itararé, por ser a unidade estratigráfica presente na área de estudo.

3.1. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma depressão alongada na direção NNE-SSW, com área de aproximadamente 1.600.000 km², abrangendo parte do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (Figura 25). Seu preenchimento sedimentar compreende rochas sedimentares e vulcânicas, com idades do Ordoviciano ao Cretáceo, que perfazem um total de aproximadamente 6.500 metros de espessura (figura 26). Sua arquitetura estratigráfica caracteriza-se por um conjunto de seqüências depositadas em diferentes ambientes tectônicos. É uma bacia cratônica flexural, de evolução policíclica, com início da deposição no Ordoviciano (Zalán *et al.* 1990, Soares 1991, Assine 1996).

As rochas sedimentares da bacia são essencialmente siliciclásticas, constituindo unidades depositadas durante o Paleozóico e o Mesozóico, com algumas ocorrências subordinadas de rochas carbonáticas permianas.

As unidades estratigráficas da bacia são englobadas em seis maiores seqüências, denominadas ordovício-siluriana, devoniana, permocarbonífera, triássica, jurássico-eocretácea e neo-cretácea (Milani, 1997).

A Seqüência Ordovício-Siluriana é representada pelo Grupo Rio Ivaí (Assine *et al.* 1994), que engloba da base para o topo conglomerados e arenitos continentais/marinhos da Formação Alto Garças, diamictitos glaciais da Formação Iapó e folhelhos marinhos transgressivos e arenitos marinhos regressivos da Formação Vila Maria.

A Seqüência Devoniana, representada pelo Grupo Paraná, é caracterizada por uma espessa sucessão de arenitos litorâneos e marinhos na base (Formação Furnas) passando gradativamente para folhelhos marinhos com intercalação de arenitos deltaicos no topo (Formação Ponta Grossa).

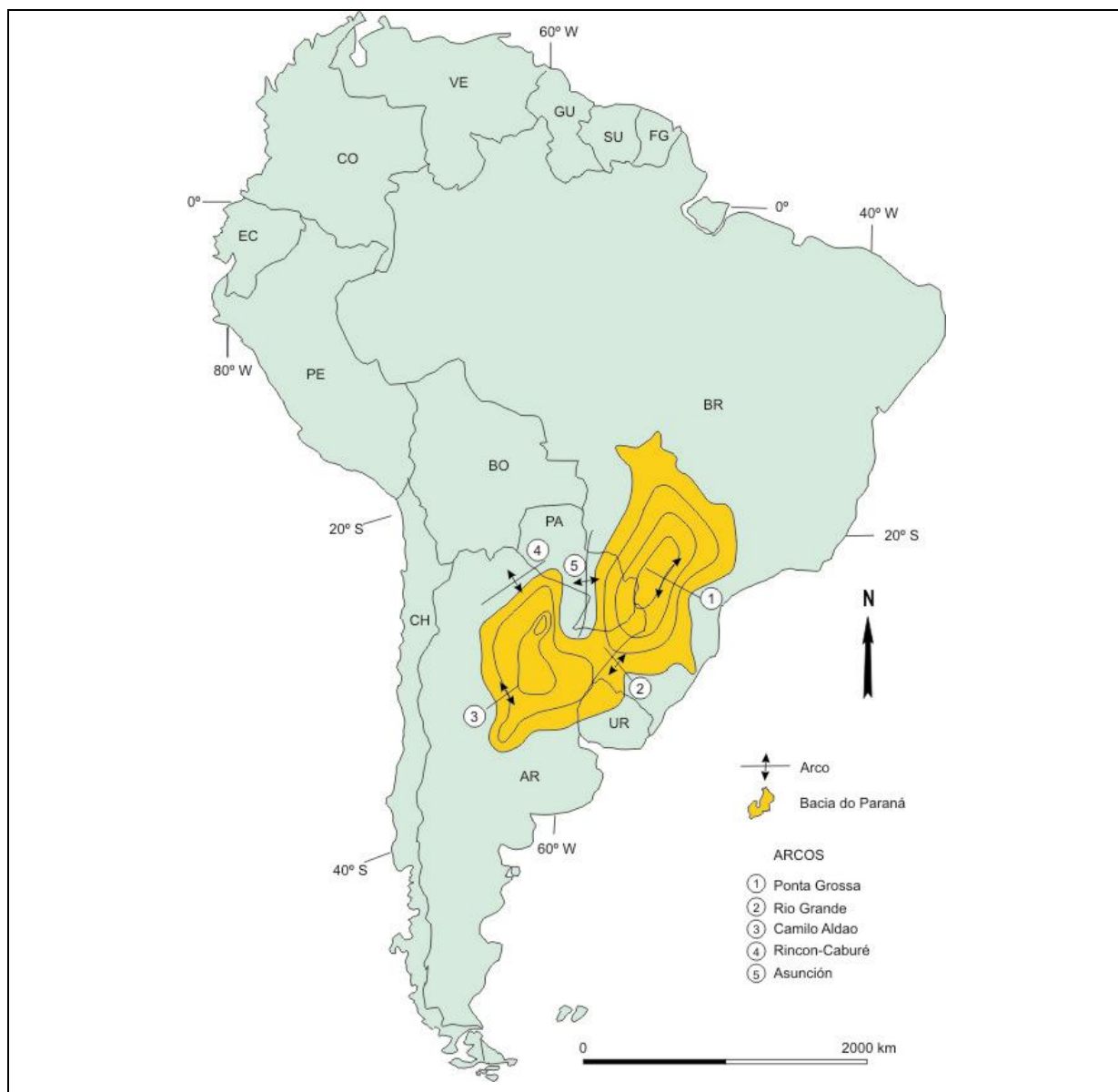


Figura 25 – Mapa de localização da Bacias do Paraná (mod. Milani & Thomaz Filho, 2000).

Na base da Seqüência Permocarbonífera ocorrem diamictitos, arenitos e folhelhos do Grupo Itararé, cuja origem está associada ao degelo e ressedimentação em ambiente glácio-marinho. Na parte média, ocorrem arenitos e siltitos da Formação Tatuí (denominada no sul da bacia como Rio Bonito/Palermo), depositados inicialmente em ambientes deltaicos dominados por rios ou costeiros/marinhos dominados por ondas e marés. Sobre estes ocorrem folhelhos escuros, margas e calcários da Formação Irati, que são sucedidos por folhelhos carbonáticos, siltitos, arenitos finos, bancos de calcários e níveis de coquinas da parte regressiva da seqüência, pertencentes as formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto na porção sul da bacia e Corumbataí na porção norte.

A sucessão sedimentar mesozóica da Bacia do Paraná é estritamente continental (Zalán *et al.* 1990), com as Formações Rosário do Sul e Pirambóia (Seqüência Triássica) consistindo de fácies eólicas, lacustrinas e fluviais. A Formação Botucatu (arenitos eólicos) juntamente com a Formação Serra Geral (basaltos toleíticos e andesitos basálticos) compõem a seqüência jurássico-eocretácea de Milani e Thomaz Filho (2000).

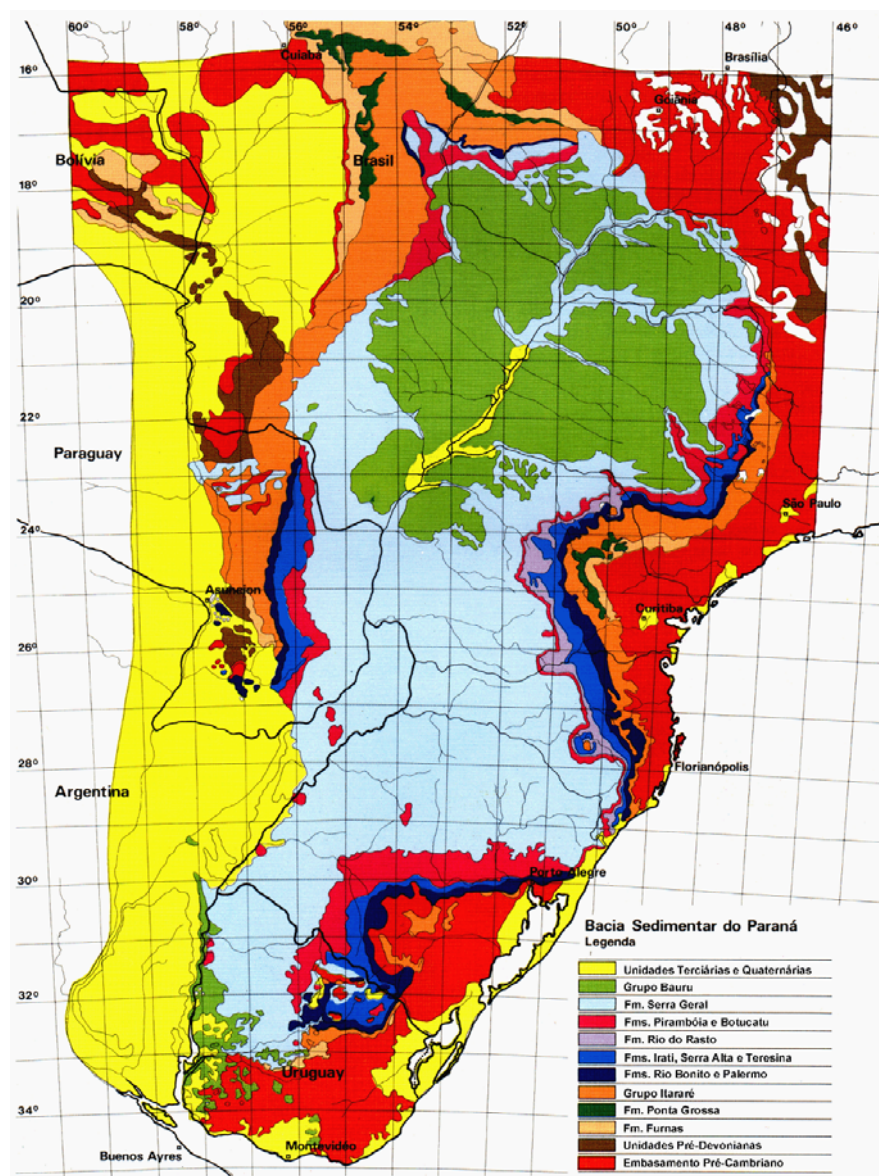


Figura 26 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Paulipetro 1981).

A Seqüência Neocretácea da bacia é representada pelas unidades parcialmente cronocorrelatas Bauru e Caiuá, que assentam em discordância erosiva sobre a Formação Serra Geral. De acordo com Fernandes (1998), o Grupo Caiuá engloba fácies de ambiente desértico, com depósitos de dunas eólicas, além de

atividade aluvial associada a enxurradas. Já o Grupo Bauru registra sedimentação flúvio-eólica, devido a uma mudança climática gradual associada a alterações na configuração geográfica da bacia.

3.1.1. Sistema Petrolífero Ponta Grossa - Itararé

3.1.1.1. Formação Ponta Grossa

A Formação Ponta Grossa, de idade devoniana, é constituída em sua sequência por arenitos transgressivos na base, passando gradacionalmente para folhelho, folhelho siltico, siltito, localmente carbonosos com intercalações de arenito. Como estrutura sedimentar mais freqüente ocorre a laminação plano-paralela, localmente evidenciando-se estratificações cruzadas de pequeno porte, marcas onduladas, laminação cruzada e *flaser*, estruturas de escorregamento e bioturbações. O seu conteúdo fossilífero e as estruturas encontradas indicam que grande parte de sua deposição se deu em ambiente marinho raso. Parte desta unidade depositou em ambiente sob influência de marés e os folhelhos laminados caracterizam ambiente de águas mais calmas.

Constitui-se em uma unidade potencialmente geradora de hidrocarbonetos pelas características de seu conteúdo orgânico. Deve produzir principalmente gás e condensado, como já constatados em diversos poços perfurados nos flancos SE e NE (região de Chapéu do Sol - PR e Cuiabá Paulista - SP, respectivamente). O teor de matéria orgânica desta unidade pode atingir 3%, e a mesma apresenta-se termicamente senilizada em quase toda a sua faixa de ocorrência (Milani *et al.* 1994).

3.1.1.2. Grupo Itararé

Considerado o melhor prospecto como reservatório de hidrocarbonetos na bacia (França & Potter 1988), o Grupo Itararé constitui a base da Seqüência Permocarbonífera e sobrepõe em discordância estratos devonianos ou rochas do embasamento pré-cambriano/eopaleozóico. No topo, transiciona para os depósitos deltaicos do Grupo Guatá, podendo esse contato ser discordante em alguns locais da bacia.

Somente após pesquisas de subsuperfície, França & Potter (1988) apresentaram a primeira proposta de subdivisão do Grupo Itararé, individualizando as formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba, correspondendo a três grandes ciclos sedimentares com padrão vertical de granodecrescência ascendente, relacionados a eventos de avanço e recuo de geleiras. A proposta mais recente da carta estratigráfica do Grupo Itararé é feita por Vesely & Assine (2004) conforme a figura 27.

De idade carbonífera, a Formação Lagoa Azul representa o ciclo basal do Grupo Itararé em subsuperfície, ocorrendo nos estados do Paraná, São Paulo e sul de Mato Grosso do Sul. É composta por parte basal arenosa (Membro Cuiabá Paulista) e uma superior com predomínio de diamictitos (Membro Tarabai).

O ciclo médio do Grupo Itararé em subsuperfície, designado Formação Campo Mourão (França & Potter 1988), trata-se de uma unidade predominantemente arenosa, mas também com ocorrências de diamictitos, folhelhos e siltitos, estando presente em praticamente toda a bacia.

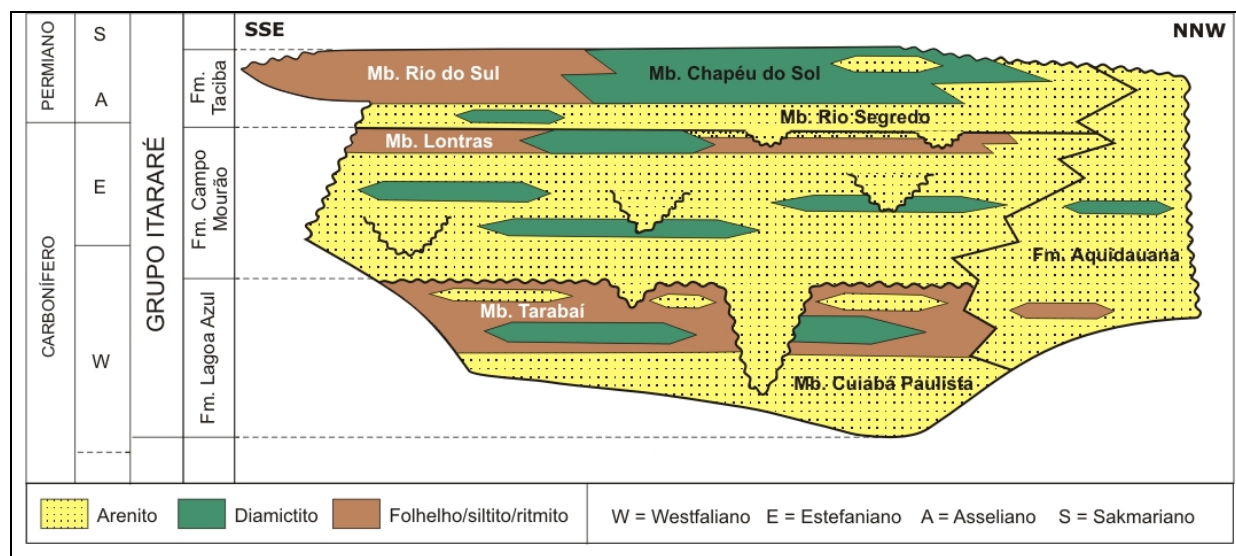


Figura 27 - Carta estratigráfica do Grupo Itararé (modificada de França *et al.* 1996, *apud* Vesely & Assine, 2004).

A Formação Taciba possui idade eopermiana e distribuição ampla na bacia. É composta por membro basal arenoso (Rio Segredo) constituído por arenitos e siltitos e alguns conglomerados e membro superior com predomínio de diamictitos (Chapéu do Sol). O Membro Rio Segredo torna-se menos espesso em direção ao sul da bacia, estando ausente no Estado do Rio Grande do Sul. Segundo França & Potter (1988), no Estado de Santa Catarina os diamictitos do Membro Chapéu do Sol

passam lateralmente para folhelhos rítmicos do Membro Rio do Sul (Formação Rio do Sul de Schneider *et al.* 1974).

A relação entre reservatórios e camadas selantes no Grupo Itararé merece atenção especial, onde sua arquitetura estratigráfica deve-se à ciclicidade da sedimentação, cujo fator de controle mais importante foram os eventos de avanço e recuo de geleiras marinhas (Vesely 2001). Na base dos diversos ciclos observados destacam-se expressivos corpos arenosos, alguns com boa qualidade para reservatório, cobertos diretamente por camadas pelíticas (diamictitos, ritmitos, siltitos e folhelhos) que servem como selo (França & Potter 1988).

A existência de corpos areno-conglomeráticos canalizados em diferentes níveis estratigráficos são de grande importância na pesquisa de possíveis trapas estratigráficas no Grupo Itararé. O exemplo clássico de arenitos canalizados é o Arenito Lapa, localizado no sul do Estado do Paraná e pertencente a parte inferior da Formação Campo Mourão (França *et al.* 1996), que serve como modelo análogo desse tipo de reservatório em subsuperfície.

Segundo França *et al.* (op. cit.), os Arenitos Vila Velha, aflorantes no Parque Estadual de Vila Velha são representados por arenitos sobrepostos a ritmitos e diamictitos, na forma de platôs subhorizontais. Estes autores interpretam que tanto estes arenitos quanto os Arenitos Lapa são componentes de um mesmo trato deposicional, com os Arenitos Lapa representando os canais e os Arenitos Vila Velha como lobos subaquosos, depositados num ambiente glacialmente induzido.

O campo de Barra Bonita, recém descoberto no Estado do Paraná e produtor de gás no poço 1-BB-1-PR, situa-se em arenitos correlatos aos Arenitos Lapa-Vila Velha, fato que justifica um estudo detalhado das características petrofísicas a nível de afloramento nesses arenitos.

3.2. Geologia Local

Recentemente, Rostirolla *et al.* (2001) e Vesely *et al.* (2003), realizaram trabalhos na área de Vila Velha, e individualizam quatro unidades ou associações faciológicas da Formação Campo Mourão, Grupo Itararé, aqui denominadas de unidades A até D, além do reconhecimento de afloramentos da Formação Lagoa Azul e do Grupo Paraná (figura 28).

Vesely *et al.*(2003), utilizando a classificação de Miall, reconheceu dezesseis fácies sedimentares e os respectivos processos formadores destas rochas, conforme figura 29, agrupadas em quatro associações de fácies, além da delimitação das formações Lagoa Azul e Ponta Grossa. O perfil representativo da área, com as respectivas fácies e associações são resumidos na figura 30.

A associação A compreende conglomerados e arenitos com as fácies Gm, Sh, Sp, St, Gc, Sr, Si, Gc e Sg, formados sob influência de *Outwash* subaquoso, num trato de sistema de deglaciação. As estruturas sedimentares presentes nos níveis arenosos são estratificação plano-paralela, cruzada planar, cruzada acanalada além de ondulações de correntes e *climbing ripples*. O padrão principal de variação granulométrica observado para esta associação é a gradação normal, com afinamento dos sedimentos para o topo das camadas.

A associação B, imediatamente sobreposta, é constituída por intercalações de diamictitos, ritmitos, siltitos e folhelhos, com níveis de arenitos médios subordinados, representados pelas fácies Dm, H, Fld, Sg, Sm, Fl e Ds, sendo sedimentos glácio-marinhos plataformais, formados em trato de sistema de deglaciação.

A associação C compõe-se predominantemente de arenitos com pequenas intercalações de folhelhos no topo da unidade, designam essa associação as fácies Sm, Sh, Si, Sg, Sp, Sr e Fld. Essas rochas são turbiditos formados durante um trato de sistema de mar baixo, passando para um trato de sistema transgressivo. Como estruturas presentes, observam-se a maciça, plano-paralela, cruzada planar, cruzada sigmóide, ondulação de corrente, *climbing ripples* e estruturas de escape de fluídos.

A associação D é representada por arenitos de fácies Sh, Sm, Ss e Sg, Formados em um trato de sistema de mar alto, caracterizando barras de desembocadura. As estruturas encontradas são plano-paralelas, cruzadas sigmóides, e cruzada planar. Ocorre gradação inversa na porção intermediária desta unidade, passando para gradação normal no topo.

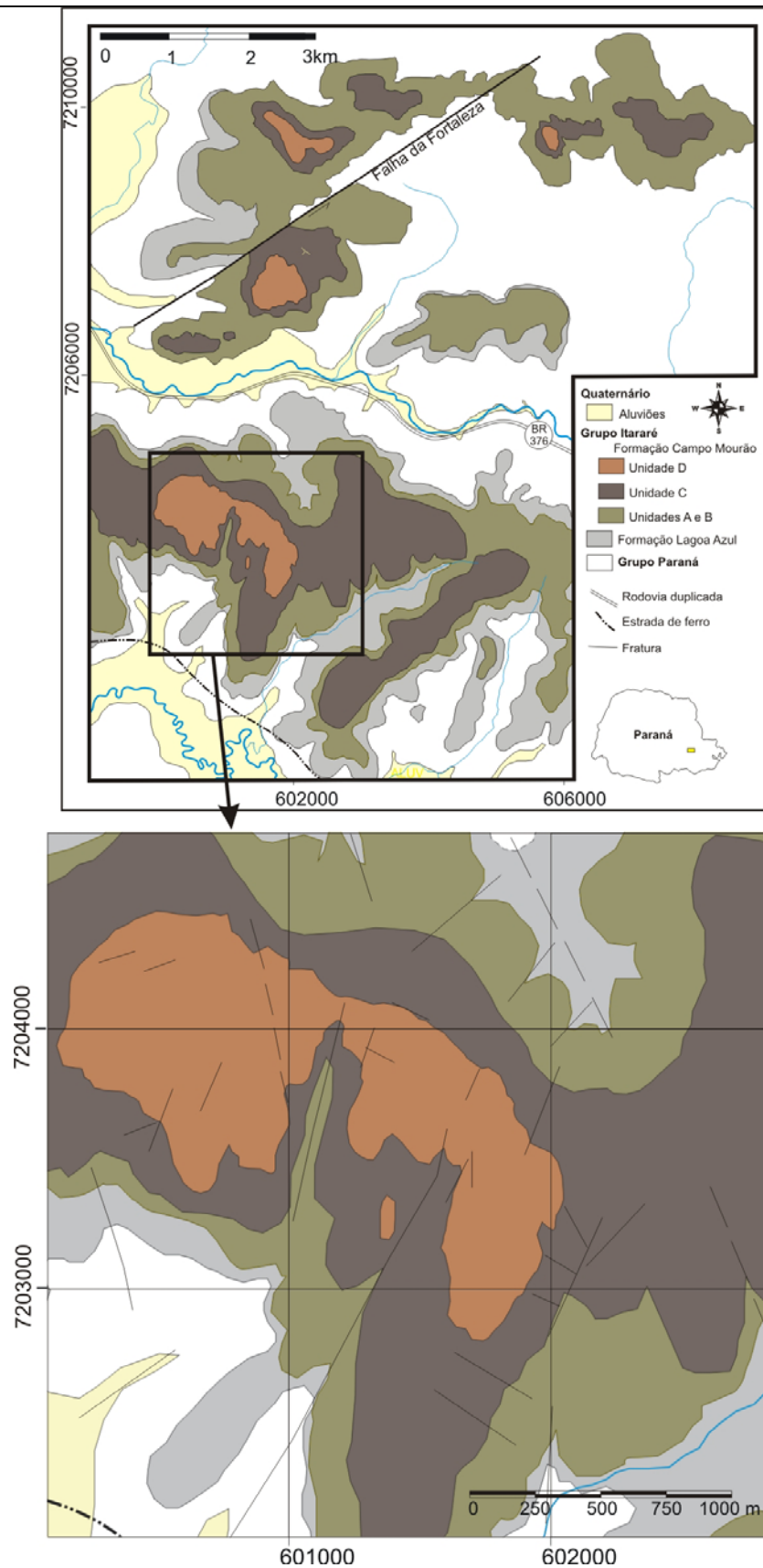


Figura 28 – Mapa geológico da área de estudo (Vesely *et al.* 2003).

Fácies	Características	Processo
Gm	Conglomerado polimítico maciço ou com estratificação incipiente; clastos subarredondados a arredondados; raramente imbricação dos clastos; matriz arenosa	Tração ou fluxo de detritos não-coesivo
Gc	Conglomerado polimítico; texturalmente caótico; grânulos a matações angulosos a arredondados; clastos de lama; matriz lamítico-arenosa	Fluxo gravitacional hiperconcentrado
Gg	Conglomerado polimítico; gradação normal; clastos subarredondados a arredondados; raramente imbricação dos clastos; clastos acima da média dispersos; matriz arenosa	Tração ou corrente de turbidez de alta concentração
Gp/Gt	Conglomerado polimítico; estratificação cruzada planar/acanalada de médio porte; grânulos e seixos subarredondados a arredondados; matriz arenosa	Tração (migração de formas de leito efêmeras)
Sm	Arenito médio a grosso; maciço; topo ondulado; clastos dispersos; corpos amalgamados	Corrente de turbidez (fluxo hiperpicnal)
Sg	Arenito médio a grosso; gradação normal; seixos e grânulos na base dos corpos; corpos amalgamados	Corrente de turbidez (fluxo hiperpicnal)
Si	Arenito médio a grosso; gradação inversa; corpos amalgamados	Corrente de turbidez (fluxo hiperpicnal)
Sh	Arenito fino a médio; laminação horizontal ou raramente de baixo ângulo	Tração (leito plano)
Sp/St	Arenito médio a conglomerático; estratificação cruzada planar ou acanalada de médio a grande porte; clastos de lama	Tração (migração de formas de leito)
Ss	Arenito médio a grosso; estratificação cruzada sigmoide de médio a grande porte	Tração (migração de formas de leito) com suspensão associada
Sl	Arenito médio a grosso; estratificação cruzada planar de baixo ângulo e de grande porte	Tração (migração de mega-formas de leito)
Sr	Arenito fino a médio; ondulações de corrente e/ou <i>climbing ripples</i> de pequeno a médio porte (<i>megaripples</i>); lineações de corrente	Tração com suspensão associada (migração de formas de leito cavalgantes)
H	Fácies heterolítica; ritmito areia/lama com sequência de Bouma (<i>a-c-d-e</i> ou <i>c-d-e</i>);	Corrente de turbidez de baixa densidade
Fl/Fld	Siltito, folhelho ou ritmito silte/argila; clastos esparsos	Decantação/corrente de turbidez de baixa concentração
Dm	Diamictito maciço a sutilmente laminado; matriz lamítico-arenosa; espessura métrica	Chuva de detritos (decantação de pluma hipo/homopical e queda de clastos de gelo flutuante)
Ds	Diamictito estratificado e heterogêneo; matriz lamítica a lamítico-arenosa; inclusões de arenito; espessura métrica a decamétrica	Escorregamento de massa (<i>lump</i>)

Figura 29 – fácies sedimentares na área de estudo (Vesely *et al.* 2003).

4. RESULTADOS OBTIDOS

Serão apresentados neste capítulo os resultados alcançados com o desenvolvimento desta pesquisa, bem como serão feitas interpretações destes produtos.

4.1. Modelagem Topográfica

Os grids gerados durante as etapas de vetorização do relevo e salvos em extensão .grd, são aqui representados na forma de modelos digitais de elevação. A figura 31 mostra, a partir de base topográfica 1:50.000, a variação do relevo em escala regional. É possível individualizar quatro compartimentos geomorfológicos maiores, aqui denominados de I, II, III e IV. O compartimento I, correlato às rochas do embasamento do primeiro planalto paranaense, possui altitudes de 750 a 850 metros, exibindo um relevo muito arrasado, formando um padrão de mar de morros com pequena amplitude entre as corcovas dos morros. O compartimento II, delimitado do compartimento anterior pela Serra de São Luiz do Purunã, correspondem às rochas da Formação Furnas, já no segundo planalto paranaense, exibindo superfícies de relevos preservados, com rugosidade baixa, e altitudes situadas entre 950 e 1150 metros. Relevos mediantemente arrasados são observados no compartimento III, onde as rochas, principalmente do Grupo Itararé, são condicionadas por descontinuidades estruturais. Alguns importantes platôs são observados neste compartimento, como os da Fazenda Rivadávia, Fazenda Cambiju, Fortaleza, e o próprio Parque Estadual de Vila Velha. As altitudes registradas são das ordens de 800 atingindo até 1050 metros nos platôs mais elevados. Por fim, o compartimento IV, reflete relevos arrasados, com escarpas condicionadas pelas direções principais das estruturas rúpteis. Inclui rochas do Grupo Itararé e da Formação Ponta Grossa, além de depósitos quaternários. Registra-se neste compartimento altitudes entre 700 e 900 metros.

Também condicionando a geomorfologia regional, extensos alinhamentos estruturais são evidentes em todos os compartimentos descritos, com as direções NE-SW, NW-SE, E-W e NS, que serão oportunamente apresentados a seguir.

A escarpa de principal interesse nesta pesquisa, localizada na Fazenda Rivadávia, situa-se no denominado compartimento III. Conforme mostrado nas figuras 32 e 33, referente aos modelos digitais de elevação sobrepostos pela aerofoto em escala 1:10.000, corresponde a um platô sub-horizontal com escarpas de aproximadamente 14 metros de altura, sustentado por arenitos finos a médios, muito silicificado no topo, marcado por intenso fraturamento de direção aproximada N-S.

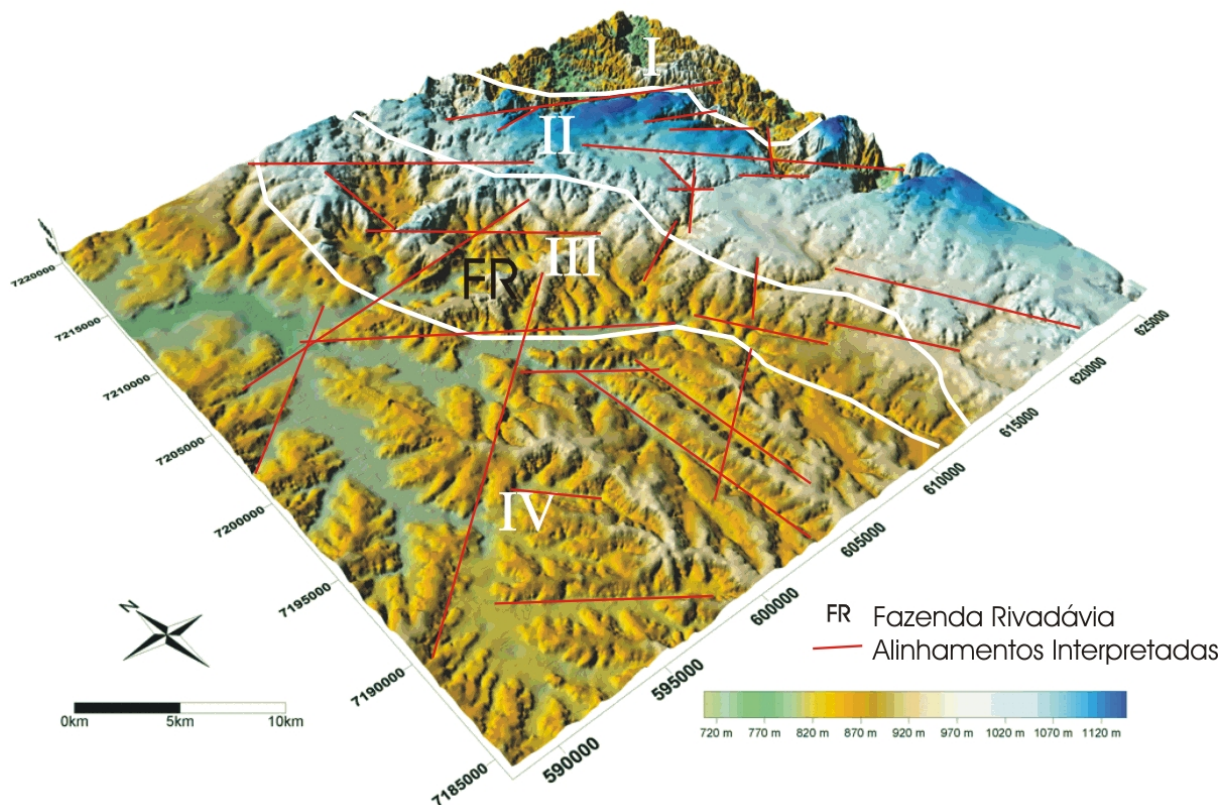


Figura 31 – Modelo digital de elevação regional e compartimentação geomorfológica (visão para Nordeste).

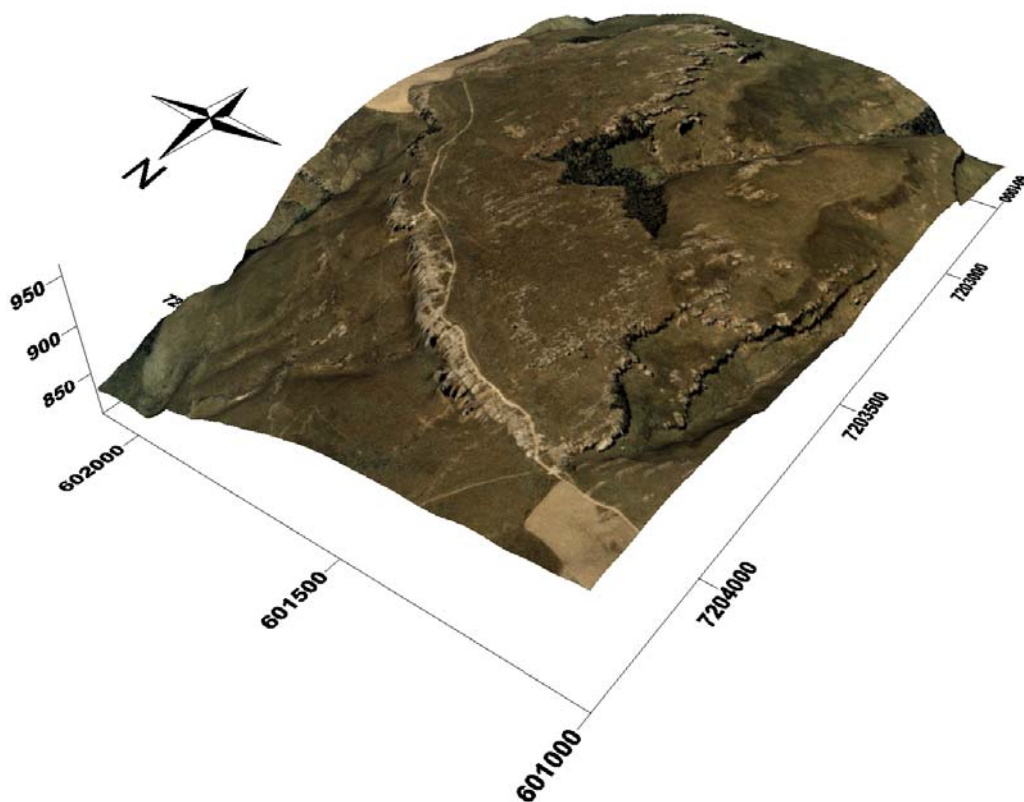


Figura 32 – Modelo Digital de Elevação com visão de NW para SE.

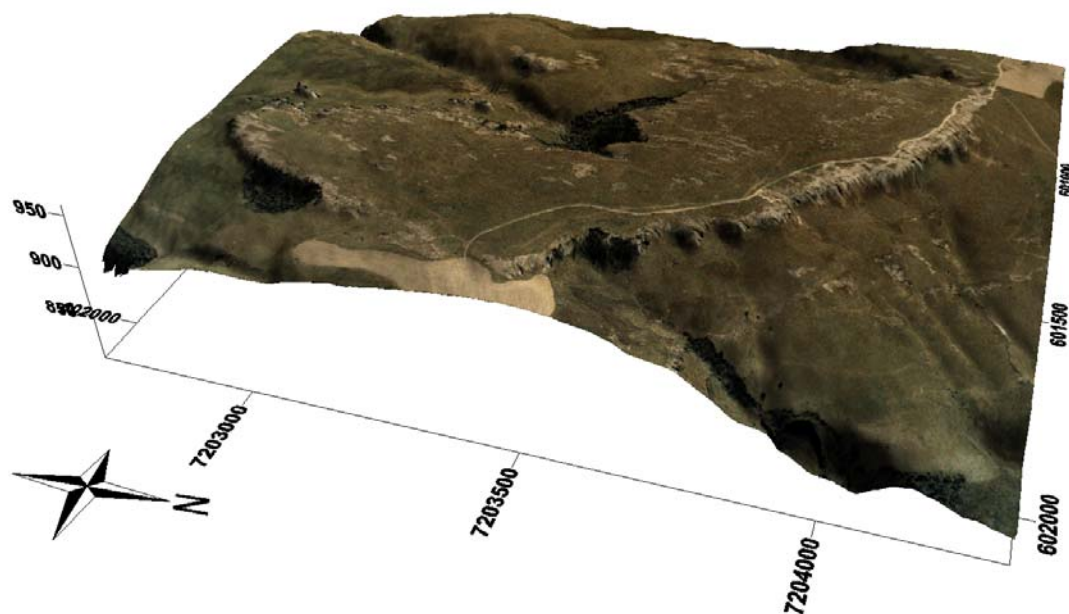


Figura 33 – Modelo Digital de Elevação com visão de NE para SW.

4.2. Caracterização Estrutural

Os trabalhos para a caracterização estrutural resultaram em mapas e diagramas em rosetas para as diferentes escalas de mapeamentos abordadas, e aqui serão apresentados.

A figura 34 ilustra a distribuição regional de alinhamentos, balizados na porção nordeste pelo limite atual da Bacia do Paraná. Esta limitação foi feita para não confundir o condicionamento estrutural do embasamento com as estruturas presentes nesta porção da bacia.

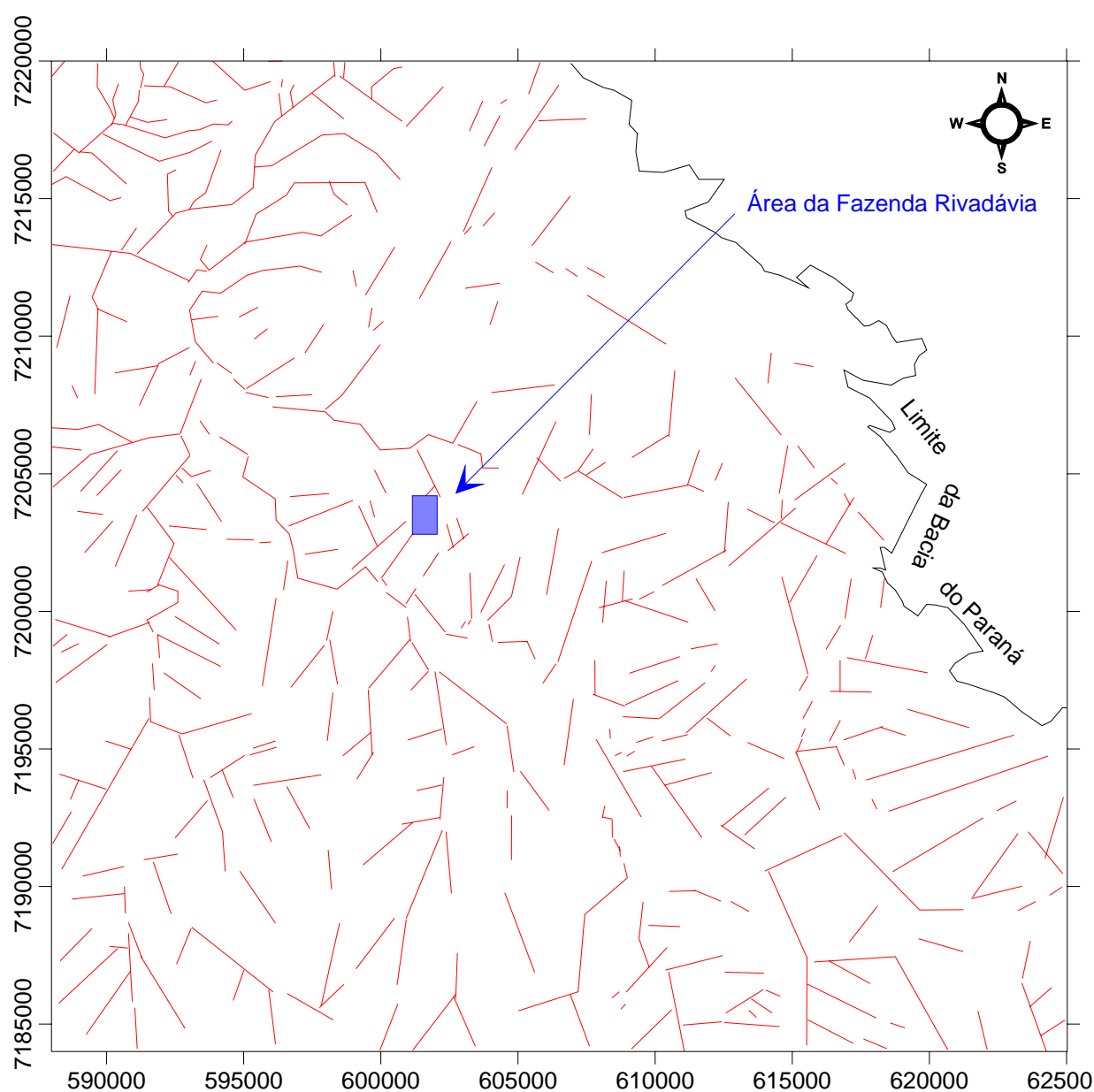


Figura 34 – Mapa de alinhamentos estruturais em nível regional (limitado à Bacia do Paraná).

As diferentes direções de alinhamentos estão presentes em toda a área, o que permitiu que fossem representados por diagramas de rosetas gerais, conforme a figura 35. Apesar dos valores não apresentarem marcantes modas de distribuição, nota-se que existem predomínios de freqüência para as direções N-S, N30-60E e N70-90E, e os mesmos padrões de distribuição de valores se repetem quando representados os comprimentos acumulados destes lineamentos.

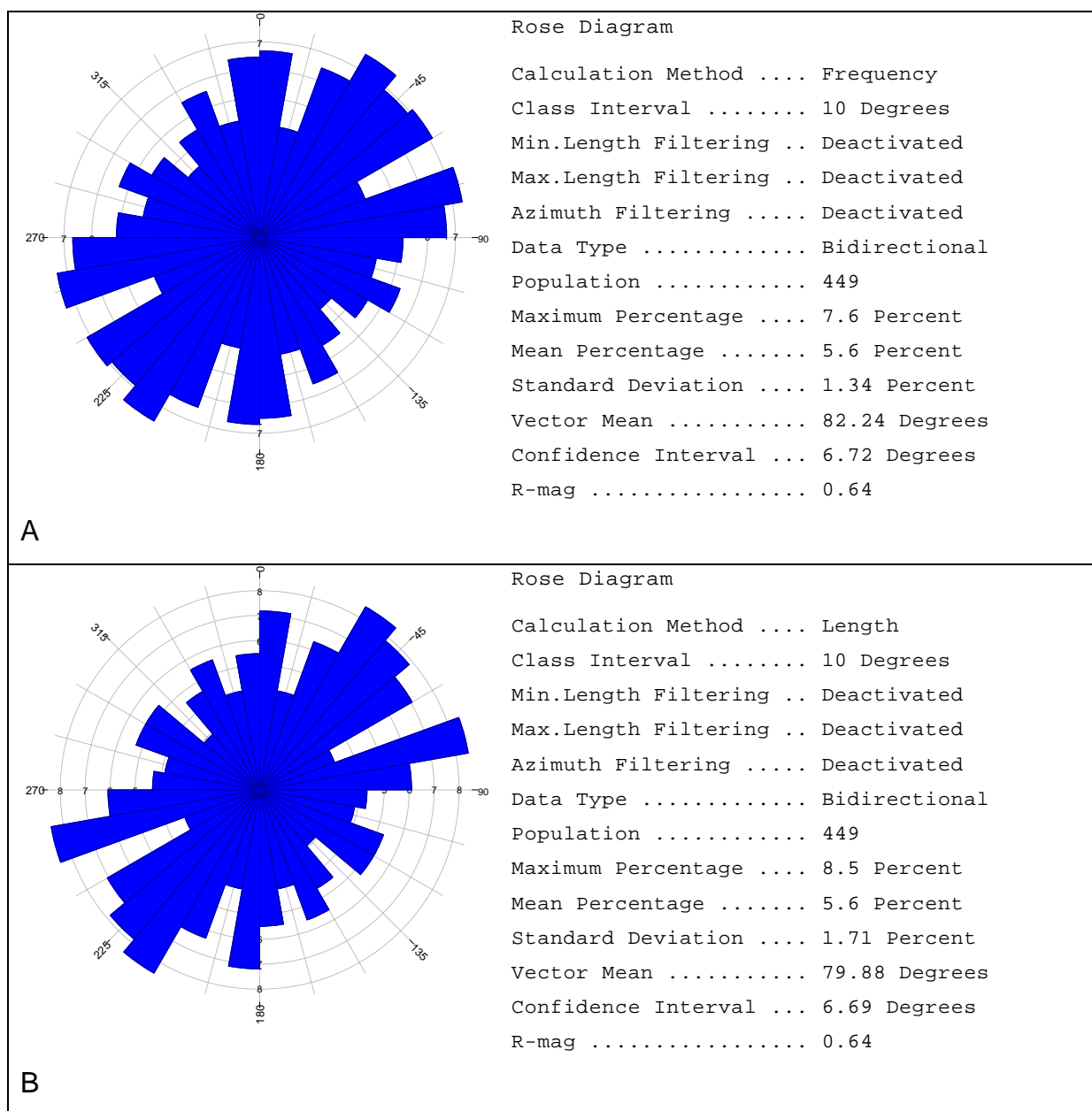


Figura 35 – Diagramas em rosetas dos alinhamentos estruturais em nível regional; A – distribuição por freqüência; B – distribuição por comprimento acumulado.

Os trabalhos de mapeamento estrutural em nível de detalhe podem ser visualizados na figura 36 (A), onde as fraturas mapeadas possuem traçado contínuo e as inferidas tracejados. Um mapa de frequência dessas estruturas é mostrado na mesma figura, em B, onde as fraturas definidas estão concentradas nas bordas da escarpa, devido ao fato de que são porções com rochas aflorantes. As porções sem notação de fraturas, conforme observado em A e B, não necessariamente correspondem às rochas indeformadas, mas sim a locais onde a cobertura de delgadas camadas de solos impedem a identificação de planos de descontinuidades na escala de detalhe utilizada, porém mapeadas através das interpretações sísmicas de Bartoszeck 2004 (C, na figura 36).

Com base nas informações de mapeamento em campo e de foto-interpretações, foram gerados diagramas de rosetas (figuras 37 e 38). Pela comparação dos dois diagramas de rosetas, especificamente os referentes à frequência dos alinhamentos, verifica-se a coerência da distribuição das direções preferenciais N10-20E tanto para as medidas em nível de afloramento quanto em nível de traçado sobre a imagem georreferenciada. É possível que esta coerência na distribuição seja em função de se tratar de uma direção com alinhamentos mais pronunciados, com continuidade de extensão relativamente maiores.

Já a direção N70-80W é mais evidenciada nos dados de campo, possivelmente devido ao caráter de pouca continuidade, que ao nível de traçado sobre a foto aérea não se mostra tão pronunciada, por questões de escala.

Com respeito à direção N20-30W, trata-se de alinhamentos contínuos, porém de pouca distribuição espacial. Desta forma, o diagrama de rosetas referente aos comprimentos acumulados mostra-se mais expressivo do que o de frequência, salientando esta direção quando comparada com as direções N70-80W.

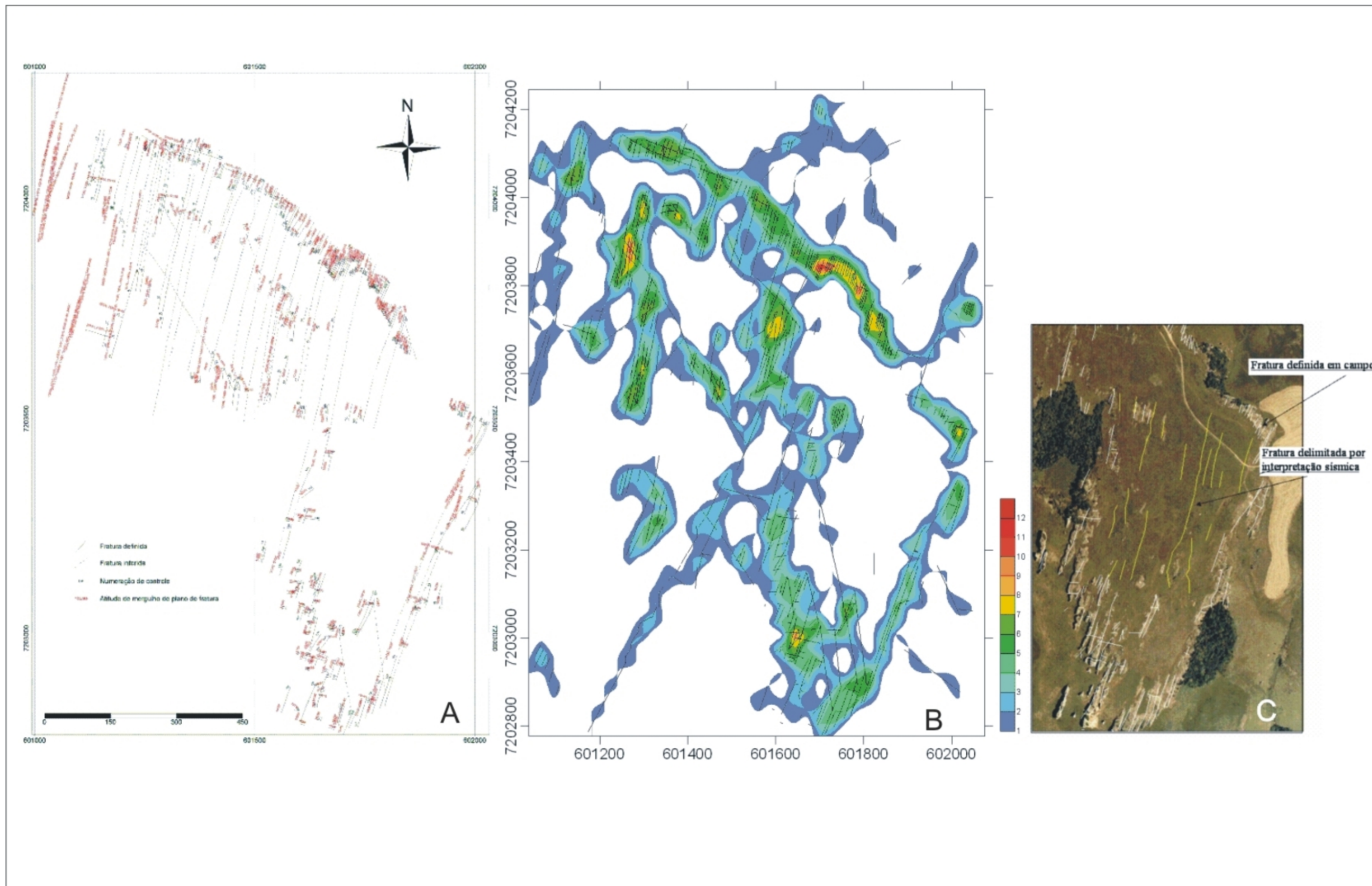


Figura 36 - (A) Mapa de fraturas da Fazenda Rivadávia; (B) Mapa de contorno de frequência; (C) Comparação entre fraturas aflorantes e fraturas delimitadas por interpretações sísmicas.

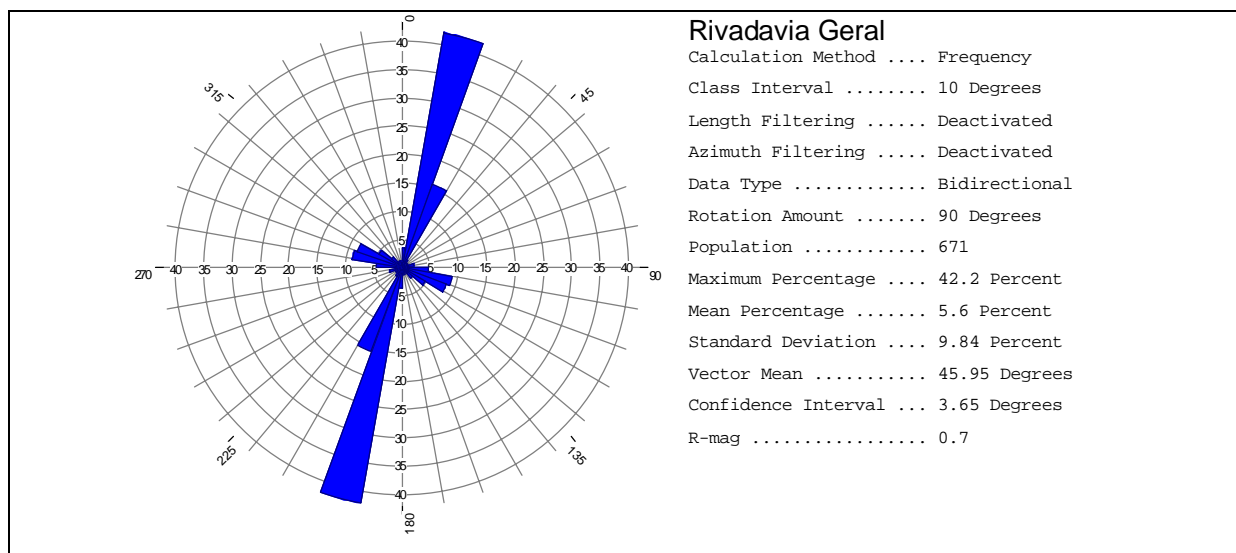


Figura 37 – Diagrama de rosetas de dados de campo (frequência).

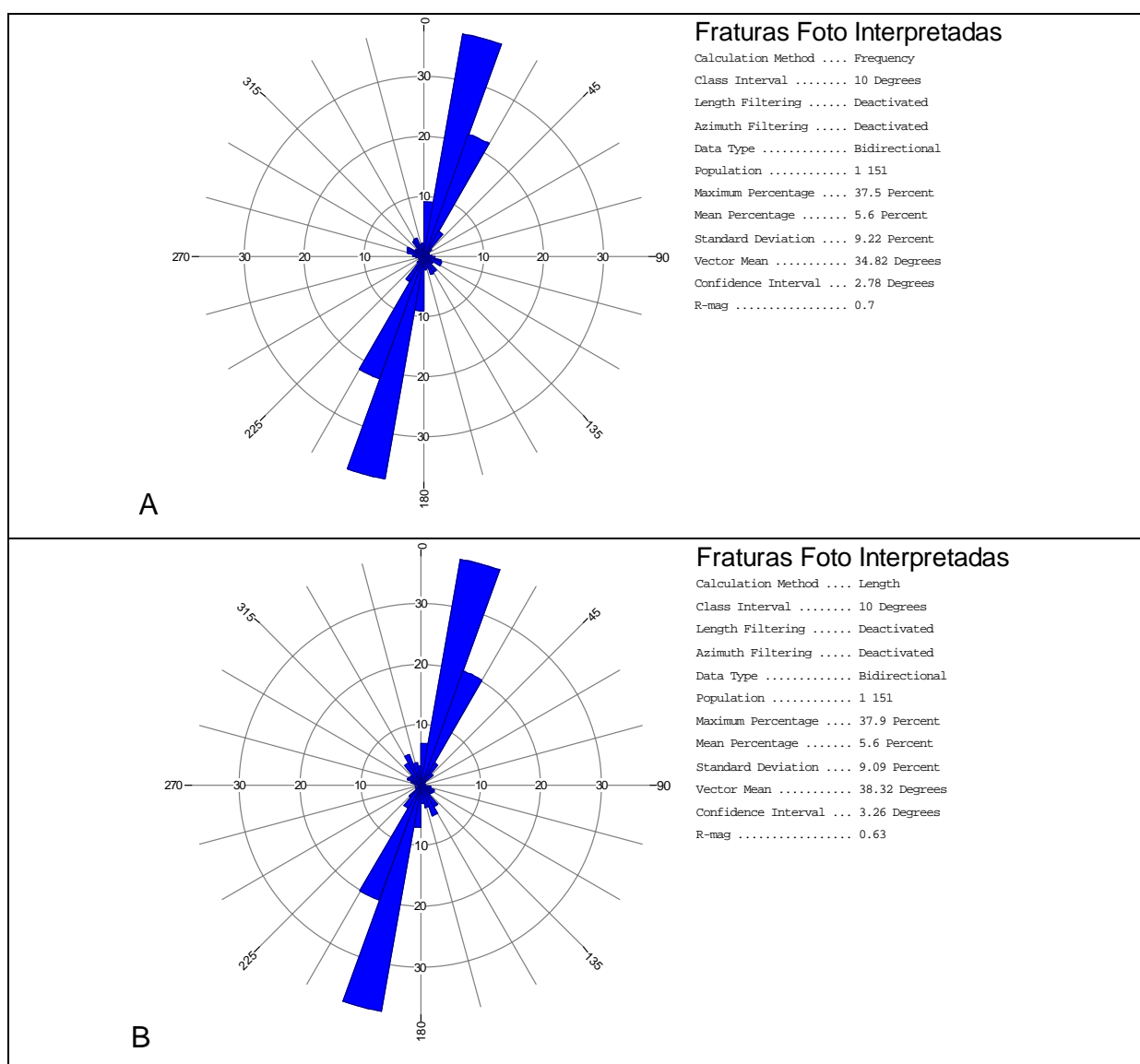


Figura 38 – Diagrama de rosetas de dados foto-interpretados: (A) Frequência; (B) Comprimentos acumulados.

Os traçados de fraturas em um mosaico de afloramento em corte horizontal são mostrados na figura 39, onde é nítido que as direções NE são mais contínuas do que as de direções NW. O diagrama em roseta que ilustra a distribuição em função da frequência (figura 40 A) salienta a predominância para a direção N10E, e, em menor intensidade, as direções N80W e N60W. Como esperado, o diagrama que representa os comprimentos acumulados tem padrão similar (figura 40 B), porém é possível evidenciar que a direção N60W são fraturas mais extensas do que as de direção N80W. Apesar de ser uma pequena porção na área de estudo, foram definidas 431 traços de fraturas, o que reflete o intenso fraturamento rúptil a qual essas rochas foram submetidas.

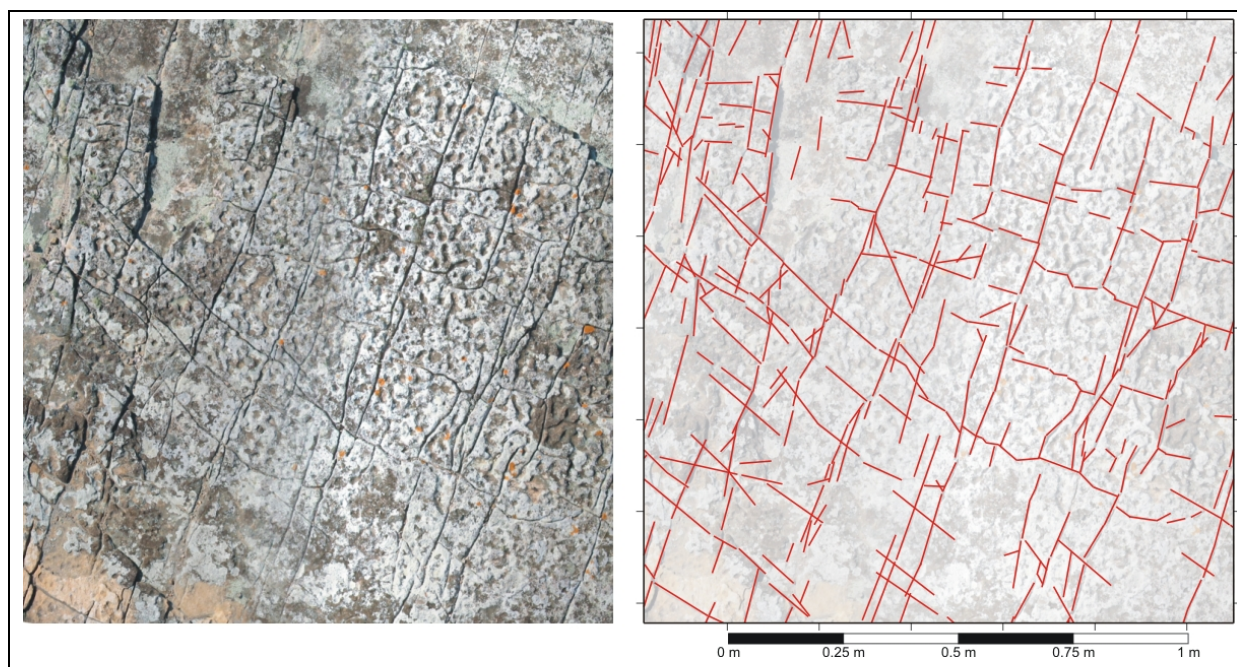


Figura 39 – Traçados de fraturas sobre mosaicos de afloramentos. Corte em planta, com o Norte no topo da figura.

Quando comparado os diagramas em rosetas de frequência nas três escalas de mapeamento estrutural, nota-se grande similaridade entre as direções registradas nas fotos aéreas e as dos mosaicos, principalmente nas direções N10-20E, mas sem correspondência quando comparados nas informações regionais, sendo que nestes últimos, outras direções são mais proeminentes.

Rostirolla et al. (2001) também realizaram um levantamento que permitiu documentar um arranjo sistemático de pequenas fraturas e falhas em escalas variadas. De modo geral, este autor verificou que camadas de rochas dispõem-se na

posição subhorizontal, com leves basculamentos, gerados por rotação a partir das falhas maiores, predominando a direção N10-30E, subverticais, com uma segunda moda em N70-80W.

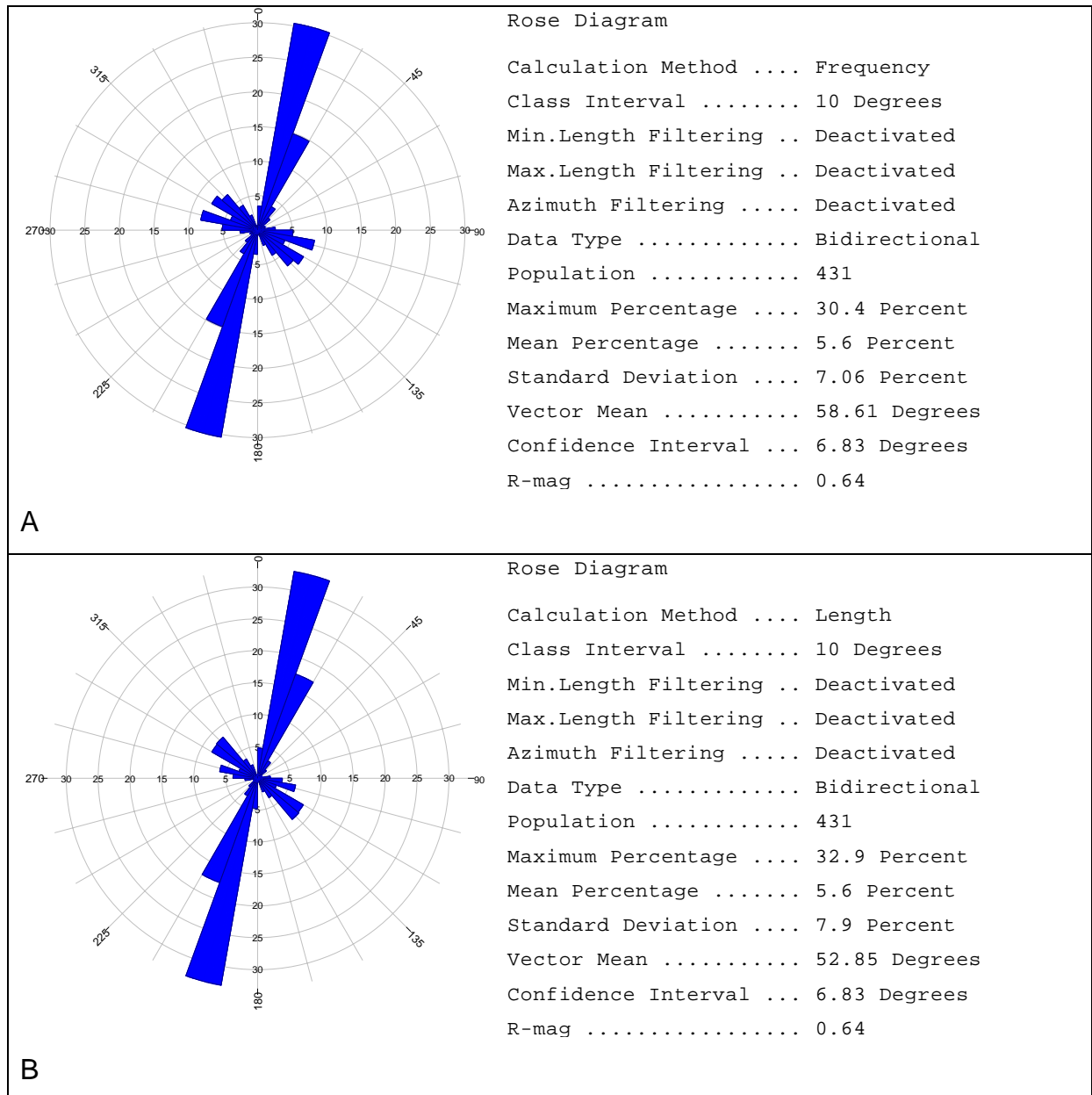


Figura 40 – Diagramas em rosetas de fraturas de mosaicos de afloramentos: (A) Frequência; (B) Comprimentos acumulados.

A distribuição final configura um sistema de pequenos *grabens* e *horts*, limitados por falhas com pequeno rejeito, da ordem de dezenas de centímetros a localmente poucos metros. O movimento ao longo destas falhas é quase imperceptível, localmente evidenciado por lineações e assimilado em bandas de

deformação, onde ocorre uma cimentação característica por óxidos de ferro e/ou sílica.

Trzaskos-Lipski *et al.* (2004), através da descrição de seções delgadas das bandas de deformação, reconheceu 2 tipos distintos de *shear bands*, que foram classificadas como: Banda de Deformação caracterizada pela Cominuição dos grãos (BDC) e Banda de Deformação Fraturada (BDF). Na BDC (figura 41) observou a cominuição de grãos em faixas de 0,5 a 2 mm de espessura, associadas a zonas de microfraturas (brecha), com rotação e translação de grãos, além existência de grãos sobreviventes em meio a uma massa fina (*gouge*). Para esses autores, a BDF (figura 42) é caracterizada por fraturas nos grãos da rocha matriz sem que haja cominuição, onde o padrão de fraturamento segue o sistema Riedel e em alguns grãos foi possível observar deslocamentos milimétricos. Em todas as lâminas descritas das BDFs observaram preenchimento por óxidos, ocorrido durante o processo telodiagênético. O contato entre a banda e o restante da rocha foi bem definido pelos autores acima citados, sugerindo a atuação de processo rúptil na mesodiagênese, e, além disso, observaram que as fraturas rompem contatos suturados e sobrecrecimento sintaxiais de quartzo.

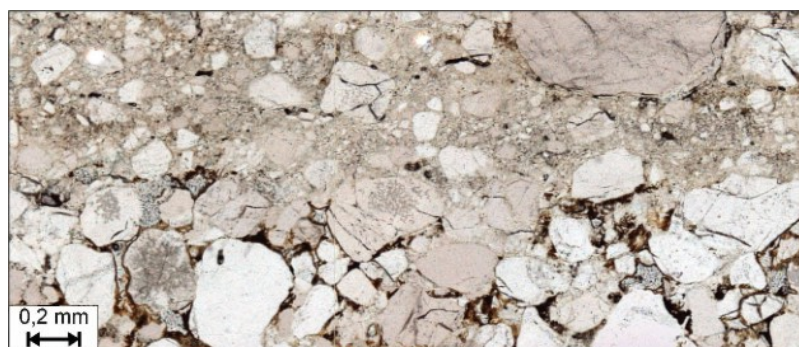


Figura 41 – Fotomicrografia de uma banda de deformação cominuída (Trzaskos-Lipski *et al.*, 2004).

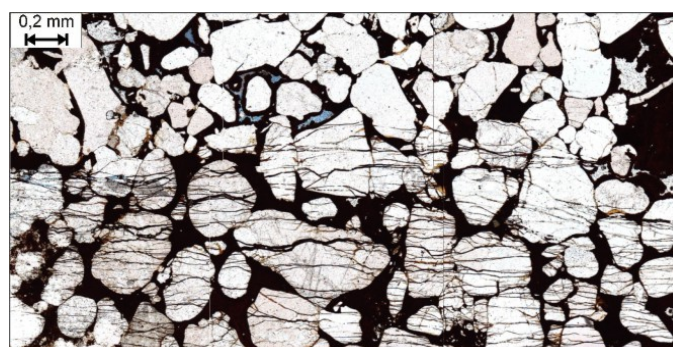


Figura 42 – Fotomicrografia de uma banda de deformação preenchida por óxidos de ferro (Trzaskos-Lipski *et al.*, 2004).

4.3. Caracterização Faciológica

As caracterizações faciológicas foram feitas com dados de testemunhos de sondagens e com a interpretação de foto-mosaicos de afloramentos, que foram comparados e correlacionados com as fácies e associações de fácies descrita por Vesely *et al.* (2003).

A partir dos testemunhos de sondagens do poço denominado TR01, referente ao intervalo situado até 59 metros de profundidade, foram reconhecidas sete fácies distintas, agrupadas em duas associações de fácies, conforme ilustrado na figura 43, diretamente correlatas às fácies de Vesely *op.cit.* A associação de fácies denominada de Unidade D compreende, neste caso, as fácies Sh, Sg, Ss, Sm, Fld e Fl. As fácies Sh são arenitos finos a médios, com laminação horizontal ou raramente de baixo ângulo. Como Sg incluem arenitos médios a grossos, com gradação normal, com ocorrência de grânulos nas porções basais. Por Ss denomina-se as fácies de arenitos médio a grossos, com estratificação cruzada sigmoidal somente observada em afloramentos. As fácies Sm são representadas por arenitos médios a grossos, com estrutura maciça e clastos dispersos no arcabouço. Por fim as fácies Fl e Fld são siltitos, folhelhos ou ritmitos formados por intercalação de silte e argila, com a presença esporádica de clastos.

A associação de fácies mais profunda atingida nesta sondagem é a correlata à denominada Unidade C, composta aqui pelas fácies Ds e Sm, onde Ds são diamictitos estratificados e heterogêneos, formados por matriz lamítica a lamítica arenosa.

A caracterização faciológica em nível de afloramento consistiu em trabalhar com os dados dos foto-mosaicos, que resultaram em painéis sobre os quais foi possível delimitar fácies reconhecidas em campo (figuras 44 e 45). Denominadas informalmente de fácies 01 a 06, da base para o topo respectivamente, são posicionadas no topo da associação de fácies denominada por Vesely *et al.* (2003) como Unidade D. Por evidenciar estruturas sedimentares que não foram reconhecidas em testemunhos, adotou-se esta classificação numérica para as fácies presentes, porém cabe ressaltar que são referentes aos mesmos intervalos areníticos.

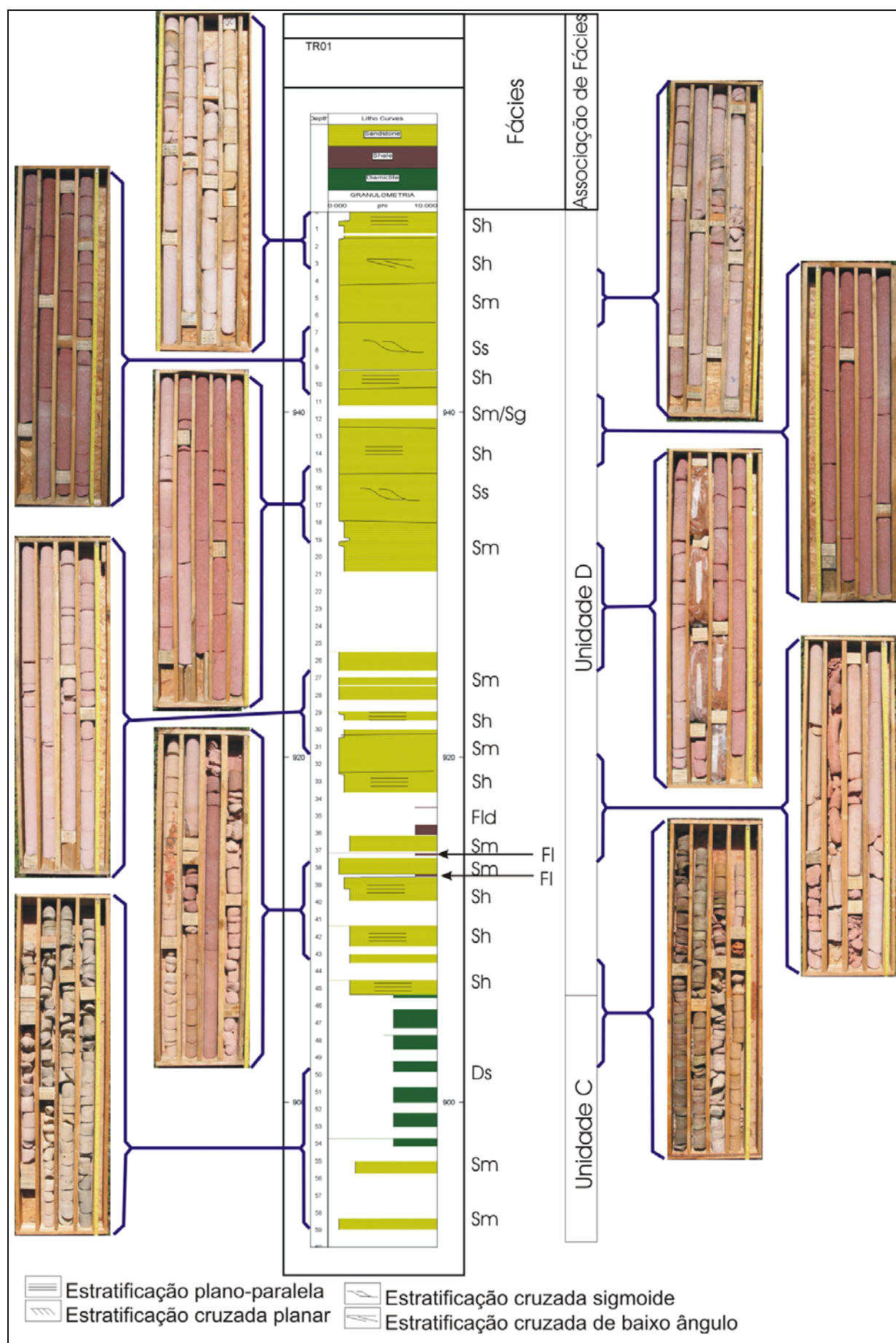
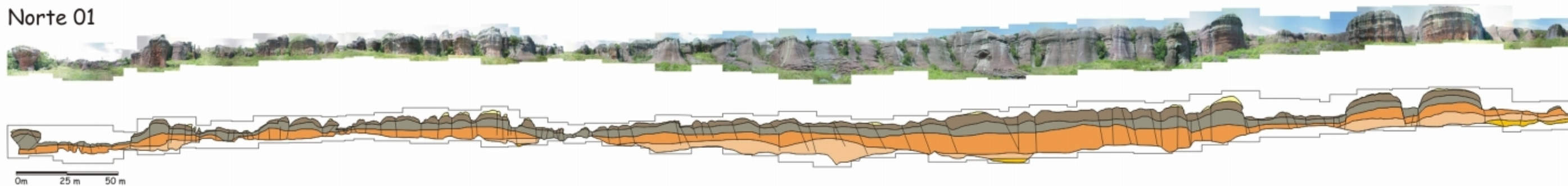


Figura 43 – Perfil granulométrico dos testemunhos de sondagens.

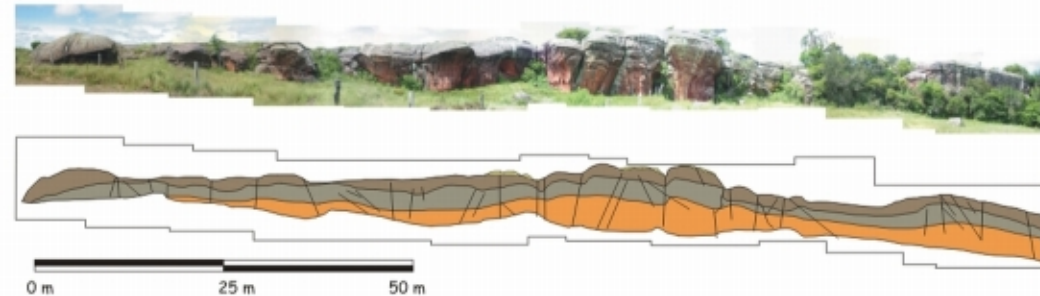
A fácies 01, basal, é representada por arenitos finos a médios, com seleção moderada, com estratificação cruzada tabular de médio porte (foresets 70 cm). Como fácies 02, designa-se arenitos grossos a muito grossos, imaturos, feldspáticos, com níveis conglomeráticos e gradação inversa a normal. Arenitos grossos, imaturos, com seleção média, estratificações cruzadas de grande porte, por vezes sigmoidais perfazem a denominada fácies 03. Para a fácies 04 foram incluídos arenitos grossos, imaturos, com seleção média, estratificações em cunha gradando para estratificações de baixo ângulo e plano-paralelas. Imediatamente sobreposta, encontra-se as fácies 05, caracterizada por arenitos finos a médios, quartzosos, com boa seleção, estratificações plano-paralelas e níveis silicificados. Lateralmente gradam para arenitos finos a médios bem selecionados. A nomeada fácies 06, superior e raramente observada nos foto-mosaicos, é marcada por arenitos finos, gradando lateralmente a arenitos médios, com boa seleção, maciços e com níveis silicificados no topo.

Com relação à continuidade lateral observada nos foto-mosaicos, cabe ressaltar que muitas das variações nas espessuras das fácies, ou mesmo a ausência das fácies superiores ou inferiores, são meramente reflexo de distorções causadas pela variação da profundidade entre a escarpa fotografada e o ponto de aquisição da imagem, ou então a ocultação de algumas fácies devido à variação na topografia do terreno.

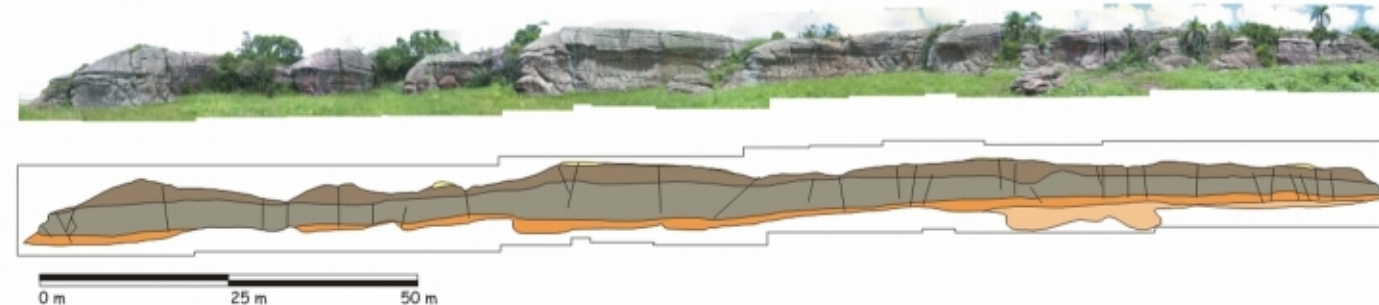
Norte 01



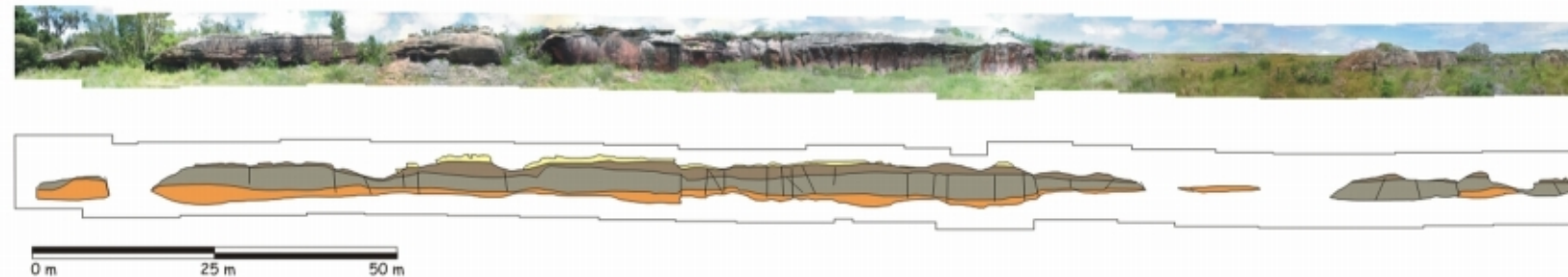
Norte 02



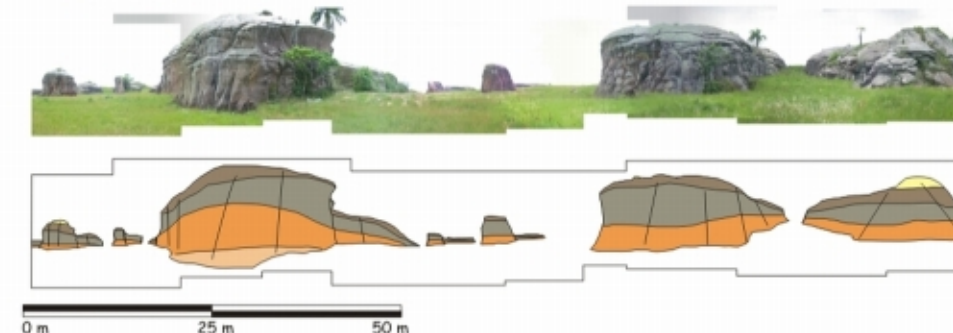
Leste 01



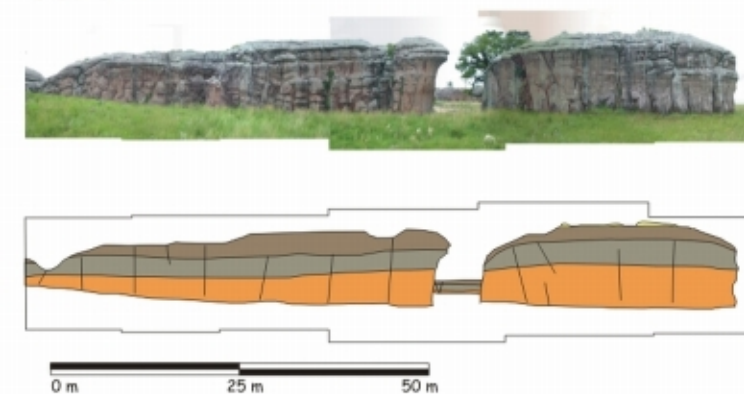
Leste 02



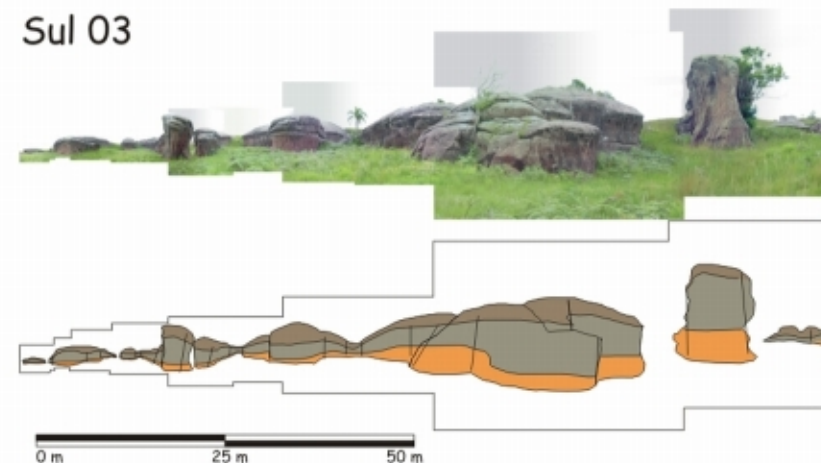
Sul 01



Sul 02



Sul 03

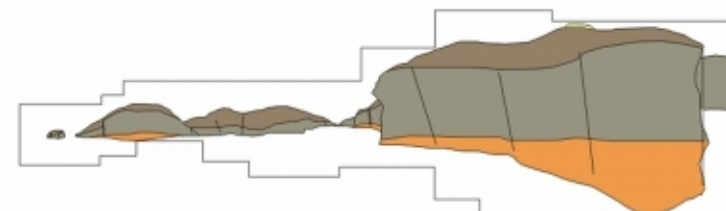


LEGENDA:

- Fácies 06 - Arenitos finos, gradando lateralmente a arenitos médios, com boa seleção, maciços e com níveis silicificados no topo.
 - Fácies 05 - Arenitos finos a médios, quartzosos, com boa seleção, estratificações plano-paralelas e níveis silicificados. Lateralmente gradam para arenitos finos a médios bem selecionados.
 - Fácies 04 - Arenitos grossos, imaturos, com seleção média, estratificações em cunha gradando para estratificações de baixo ângulo e plano-paralelas.
 - Fácies 03 - Arenitos grossos, imaturos, com seleção média, estratificações cruzadas de grande porte, por vezes sigmoidais.
 - Fácies 02 - Arenitos grossos a muito grossos, imaturos, feldspáticos, com níveis conglomeráticos e gradação inversa a normal.
 - Fácies 01 - Arenitos finos a médios, com seleção moderada, com estratificação cruzada tabular de médio porte (foresets 70 cm).
 - Fraturas
- Escala Vertical sem exagero

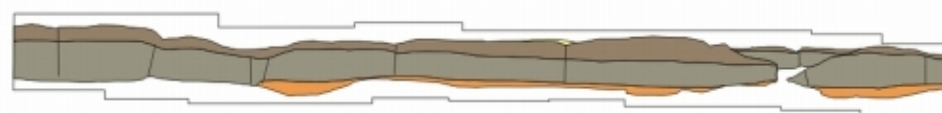
Figura 44 - Painéis fotografados e interpretados I.

Sul 04



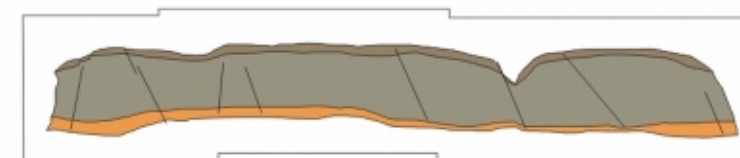
0 m 25 m 50 m

Sul 05



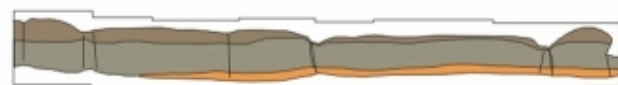
0 m 25 m 50 m

Sul 06



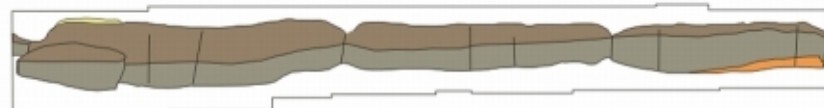
0 m 25 m 50 m

Sul 07



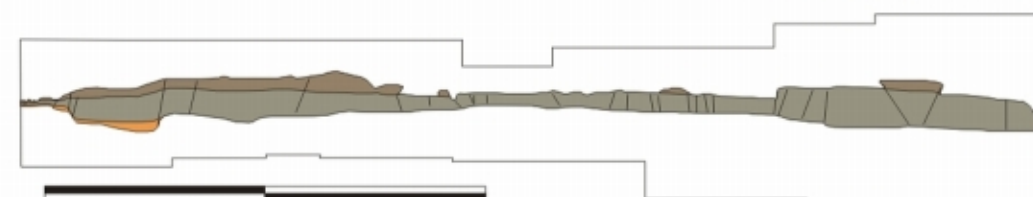
0 m 25 m 50 m

Sul 08



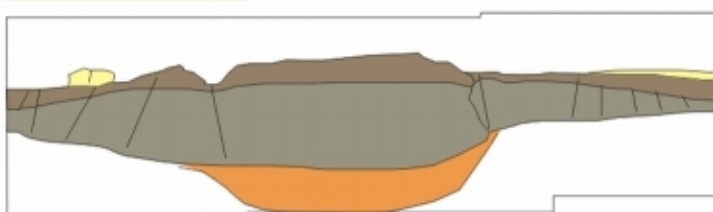
0 m 25 m 50 m

Oeste 01



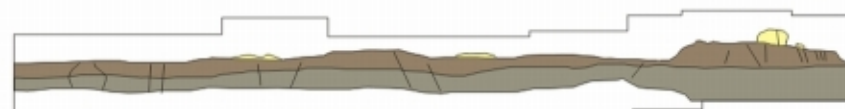
0 m 25 m 50 m

Oeste 02



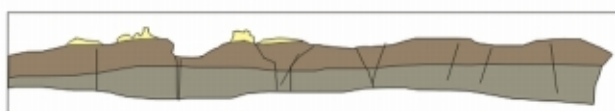
0 m 25 m 50 m

Oeste 03



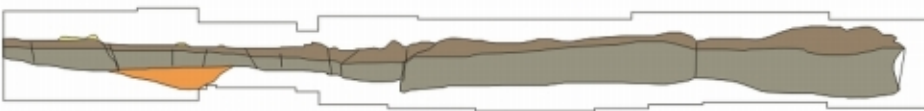
0 m 25 m 50 m

Oeste 04










0 m 25 m 50 m

Oeste 05



0 m 25 m 50 m

LEGENDA:

-  Fácies 06 - Arenitos finos, gradando lateralmente a arenitos médios, com boa seleção, maciços e com níveis silicificados no topo.
-  Fácies 05 - Arenitos finos a médios, quartzosos, com boa seleção, estratificações plano-paralelas e níveis silicificados. Lateralmente gradam para arenitos finos a médios bem selecionados.
-  Fácies 04 - Arenitos grossos, imaturos, com seleção média, estratificações em cunha gradando para estratificações de baixo ângulo e plano-paralelas.
-  Fácies 03 - Arenitos grossos, imaturos, com seleção média, estratificações cruzadas de grande porte, por vezes sigmoidais.
-  Fácies 02 - Arenitos grossos a muito grossos, imaturos, feldspáticos, com níveis conglomeráticos e gradação inversa a normal.
-  Fácies 01 - Arenitos finos a médios, com seleção moderada, com estratificação cruzada tabular de médio porte (foresets 70 cm).
-  Fraturas

Escala Vertical sem exagero

Figura 45 - Painéis fotografados e interpretados II.

4.4. Caracterização Petrográfica

Através da descrição de seções delgadas confeccionadas com 16 amostras de testemunhos de sondagens e afloramentos, os arenitos da Formação Campo Mourão existentes na Fazenda Rivadávia foram classificados petrograficamente por Bocardi *et al.* (2003), segundo a classificação de Folk, como arenitos quartzosos e subilitoarenitos.

Com relação aos constituintes detríticos encontrados, quartzo, feldspatos e fragmentos líticos predominam, com boa a moderada seleção de grãos subarredondados a bem arredondados. Como cimento encontram-se óxidos de ferro, argilominerais e sílica (sobrecrescimentos de quartzo). Tanto textural quanto mineralogicamente são classificados como submaturos a maturos. Os aspectos diagenéticos salientam influência de compactação mecânica e química.

4.5. Caracterização Textural

A caracterização textural, realizada a partir de análises granulométricas de amostras de calhas, são aqui representadas por curvas e diagramas em barras para as diferentes frações.

Curvas da distribuição das frações granulométricas

Visando representar a distribuição dos valores das frações granulométricas em função da profundidade, foram confeccionados gráficos, como o da figura 46, referente ao poço 2-RIV-005-PR, onde também estão plotados os perfis de raios gama, granulometria média e grau de seleção.

Com base nos padrões das curvas, é possível estabelecer cinco intervalos distintos, denominados, da base para o topo, de C, D1, D2, D3 e D4, sendo correlatos às Unidades C e D da Formação Campo Mourão definidas por Vesely *et al.* (2003). O intervalo C, correspondente a diamictitos intercalados com arenitos, siltitos e folhelhos, tem distribuição de valores sem um padrão definido, inclusive com granulometria média variando de areia fina à areia grossa, e graus de seleção

de pobremente selecionados à moderadamente selecionados. Para o intervalo D1, as curvas são erráticas, com padrões serrilhados e tendência de aumento para o topo no valor de areia grossa, e valores significativos e estacionários de areia muito grossa. O mesmo padrão serrilhado é refletido no grau de seleção e granulometria média, que varia de areia fina a areia média. Cabe ressaltar que existem níveis de folhelhos neste intervalo, os quais, por se tratar de amostras de calha de difícil diferenciação, acabaram sendo analisados, gerando alguns dos picos nos gráficos em questão. Imediatamente acima, o intervalo D2 possui maiores valores para areia média, com diminuição progressiva para o topo, e menores contribuições das frações areias muito grossa, fina, muito fina, e silte e argilas. Como resposta, a granulometria média atinge o campo de areia média, com ligeira diminuição do grau de seleção com a diminuição da profundidade, passando de moderadamente para pobremente selecionados. O intervalo D3 possui valores estacionários das porcentagens granulométricas. A fração areia média é a que contribui com os maiores valores de porcentagem. São areias pobremente selecionadas, com granulometria situada entre os campos de areia fina e média. Finalmente, o intervalo D4 é marcado por uma diminuição ascendente nas porcentagens de areias muito grossa, grossa, média, muito fina, e silte e argilas, com marcante aumento para a fração areia fina. A granulometria média calculada classifica estas amostras como areia fina, moderadamente selecionadas na porção superior.

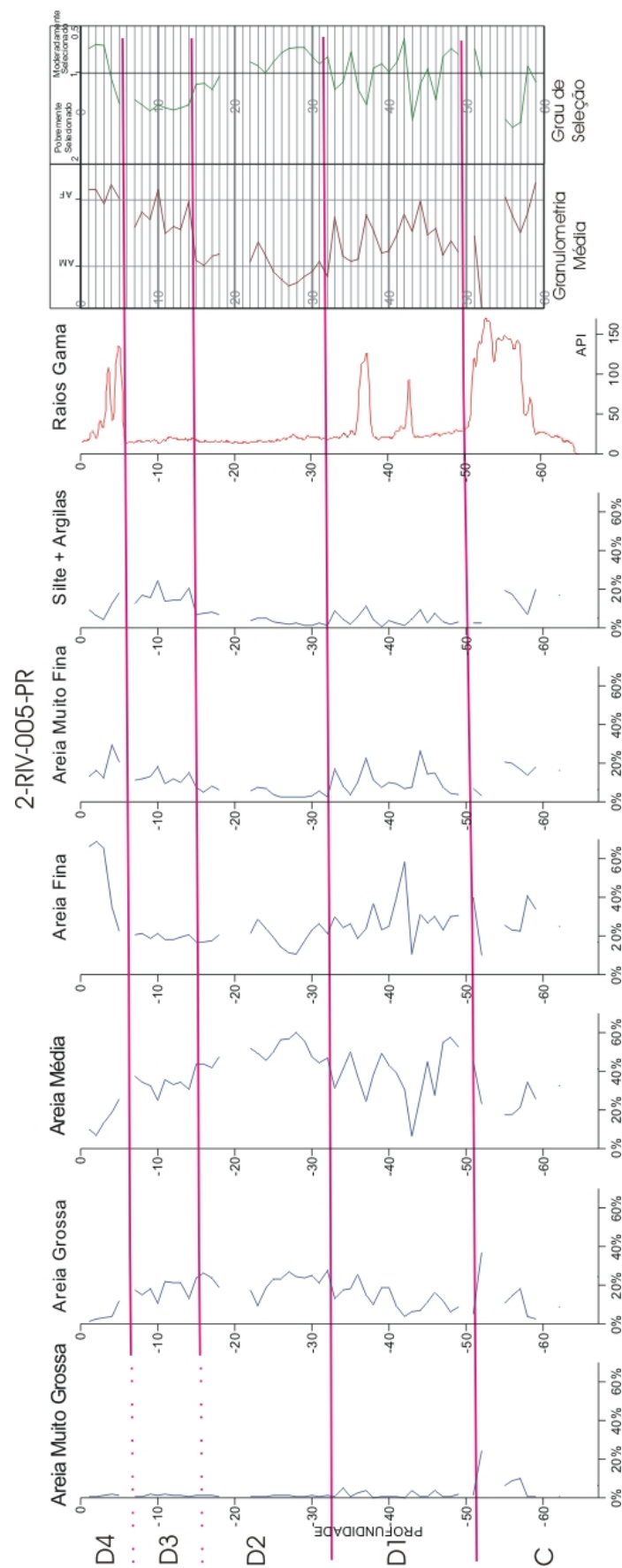


Figura 46 – Curvas da distribuição da granulométrica e textural

Diagrama em barras

Através da representação destes mesmos valores na forma de barras de porcentagem acumulada (figura 47, referente ao poço 2-RIV-005-PR), as variações em função da profundidade refletem características distintas ao longo do empilhamento dos sedimentos depositados, onde padrões crescentes e decrescentes de granulometrias podem ser evidenciados. Para as porções abaixo de 52 metros de profundidade, referentes aos diamictitos do intervalo C, apesar de ser uma rocha com baixa seleção, nota-se uma granodecrescência ascendente. Referente a porção inferior do intervalo D1, é possível verificar que existe outro ciclo com granodecrescência ascendente no intervalo situado entre 52 e 42 metros de profundidade, com diminuição das frações areias médias e grossa, e aumento da quantidade de areias finas, muito finas além de siltes e argilas. Abrangendo a parte superior do intervalo D1 e a inferior de D2, entre 42 e 28 metros, ocorre um aumento relativo de frações areia média, coincidente com a diminuição das frações menores para o topo, caracterizando um padrão granocrescente para o topo. Seguiu-se posteriormente uma deposição com caráter de granodecrescência ascendente, abrangendo os intervalos D2 superior, D3 e D4, onde no intervalo de 28 a 0 metros de profundidade é registrado por um aumento na porcentagem das frações areia fina, muito fina e siltico argilosas, concomitante com uma diminuição dos valores de areia média e grossa.

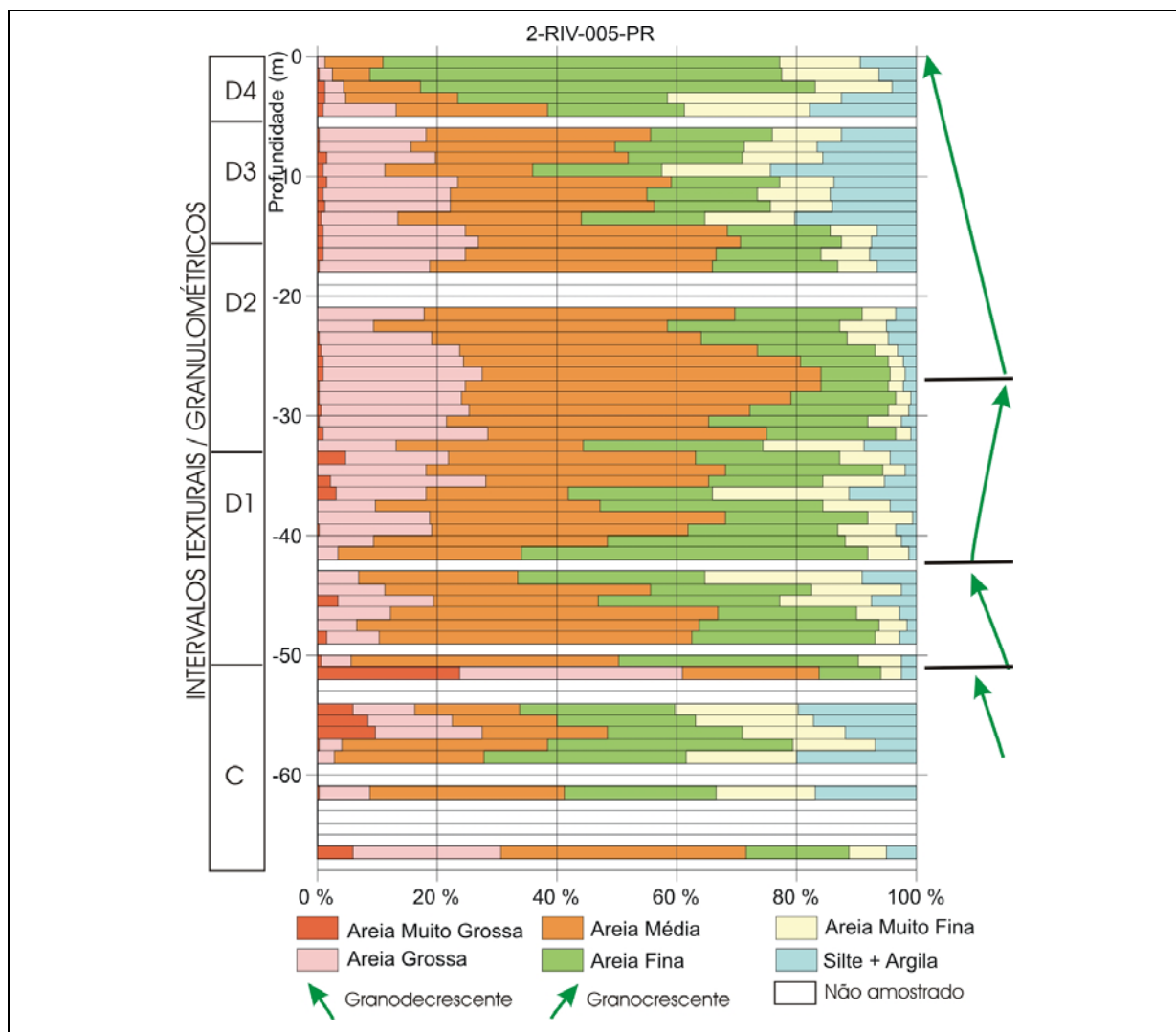


Figura 47 – Porcentagens acumuladas das frações granulométricas.

4.6. Caracterização Petrofísica

As características petrofísicas observadas correspondem aos valores quantitativos medidos e estimados de porosidade e permeabilidades. Os valores obtidos através de três diferentes métodos de quantificação de porosidade aqui serão apresentados, sendo eles análise de imagens binárias, estimativa por perfil sônico e porosimetria por injeção de mercúrio. Já os valores de permeabilidade foram obtidos apenas por ensaios laboratoriais.

4.6.1. Porosidade

Análise de imagens binárias de lâminas

A classificação de imagens binárias permitiu calcular a porcentagem das porções brancas, referentes aos poros impregnados por corante, com relação a imagem total analisada. As estimativas da densidade das amostras, em função das possíveis combinações de fluídos de preenchimento dos poros, também aqui são apresentadas, conforme visualizado na tabela 02, onde são apresentados valores referentes ao poço testemunhado TR01-PR.

amostra	profundidade	porosidade	densidade do arcabouço	Densidade da amostra (ar)	Densidade da amostra (água)	Densidade da amostra (ar + água)
1	0.29	0	2.65	2.65	2.65	2.65
2	1.4	0.96	2.65	2.624590528	2.634142816	2.629357168
5	5.6	2.92	2.65	2.572712856	2.601767732	2.587211386
8	14.06	4.16	2.65	2.539892288	2.581285536	2.560547728
10	18.5	0.58	2.65	2.634648444	2.640419618	2.637528289
13	25.5	1.97	2.65	2.597857646	2.617459737	2.607639189
16	29.45	0.59	2.65	2.634383762	2.640254439	2.63731326
18	31.45	0	2.65	2.65	2.65	2.65
20	34.3	3.29	2.65	2.562919622	2.595656109	2.579255295
23	38.4	0.82	2.65	2.628296076	2.636455322	2.632367581
25	39.3	2.06	2.65	2.595475508	2.615973126	2.605703923
30	56.6	2.77	2.65	2.576683086	2.604245417	2.590436829
31	58.8	4.25	2.65	2.53751015	2.579798925	2.558612463

Tabela 02 – Valores de porosidade e densidade das rochas.

Quando representadas como gráfico de profundidade *versus* porosidade, a distribuição desses valores de porosidade não aparenta ser inicialmente função da profundidade, ao menos não dentro do domínio de investigações por sondagens rasas, conforme mostra a figura 48. Isto pode ser devido a alguns fatores, como a escassez de análises, impregnação incorreta das seções delgadas, ou mesmo por fatores geológicos. Dentre os fatores geológicos, a porosidade secundária formada por dissolução do cimento carbonático pode ser considerada, além da obliteração da porosidade por precipitação de cimentos de óxidos de ferro, argilominerais e sobrecrescimentos de quartzo. A heterogeneidade da distribuição textural (variação da contribuição de diferentes granulometrias em cada amostra) também altera os valores da porosidade, onde o conteúdo de frações silticas e argilosas condicionam a porosidade em função das fácies existentes.

Cabe ressaltar que as profundidades nas quais as rochas estudadas hoje se encontram não são as profundidades atingidas durante a história diagenética, de forma que os efeitos da Eo, Meso e Telodiagênese alteraram constantemente suas porosidades. No atual estágio diagenético no qual essas rochas se encontram, que é o da telodiagênese, as porosidades pré-existentes foram obliteradas pela precipitação de óxidos dissolvidos em águas meteóricas que percolaram ao longo de unidades preferenciais de fluxo. Na figura 49, pode-se observar um exemplo da influência desta precipitação, onde para a amostra em questão (amostra nº13 – vide tabela 02), têm-se valores de espaços intergranulares preenchidos por óxidos na ordem de 6,8%, enquanto a porosidade atual só atinge 1,97%. Por essa diferença de valores, estima-se que existia um espaço intergranular com valor aproximado de 8,77%, calculado através de análise de imagens, antes dos efeitos telodiagenéticos.

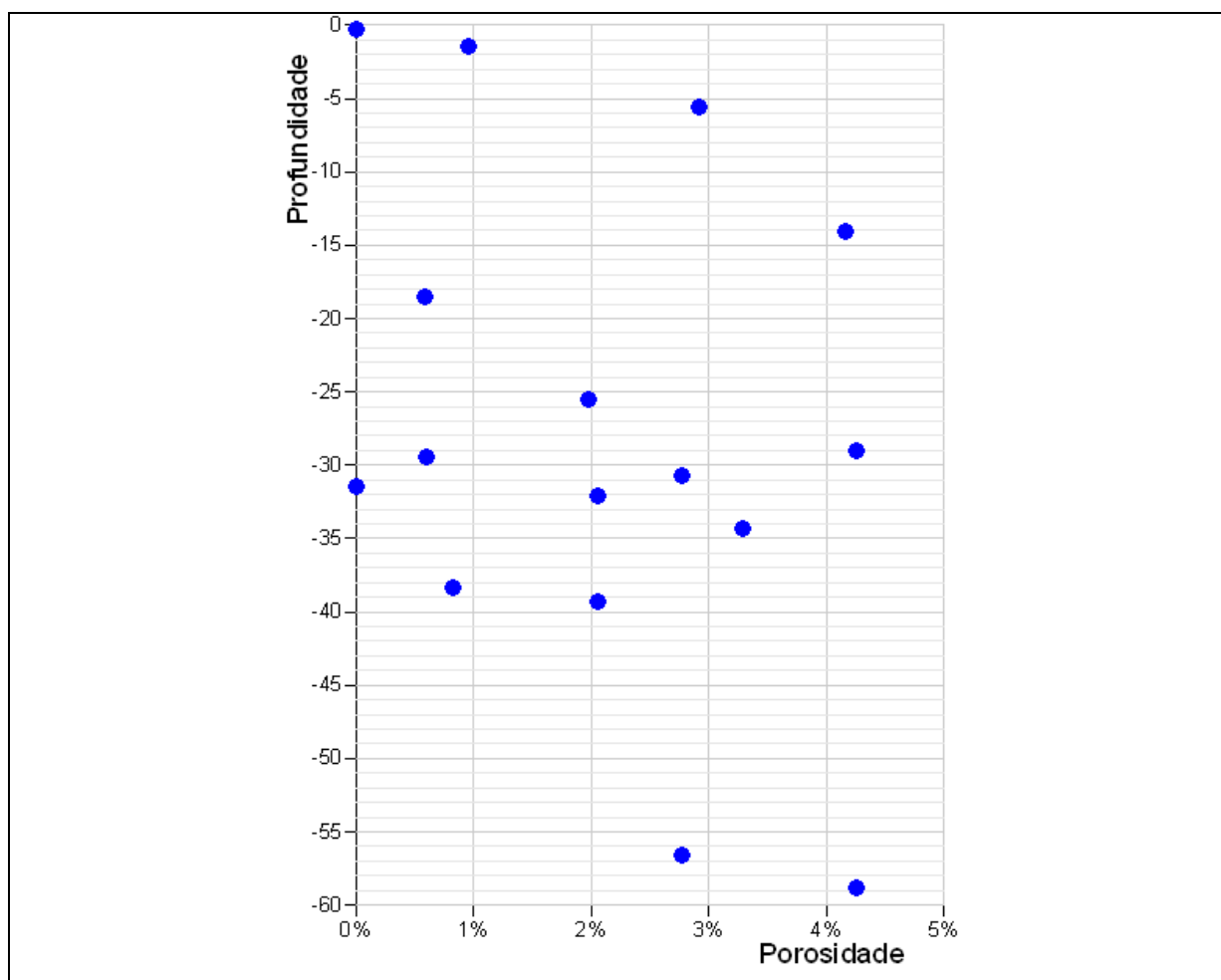


Figura 48 – Distribuição da porosidade com base em análise de imagens binárias de lâminas.

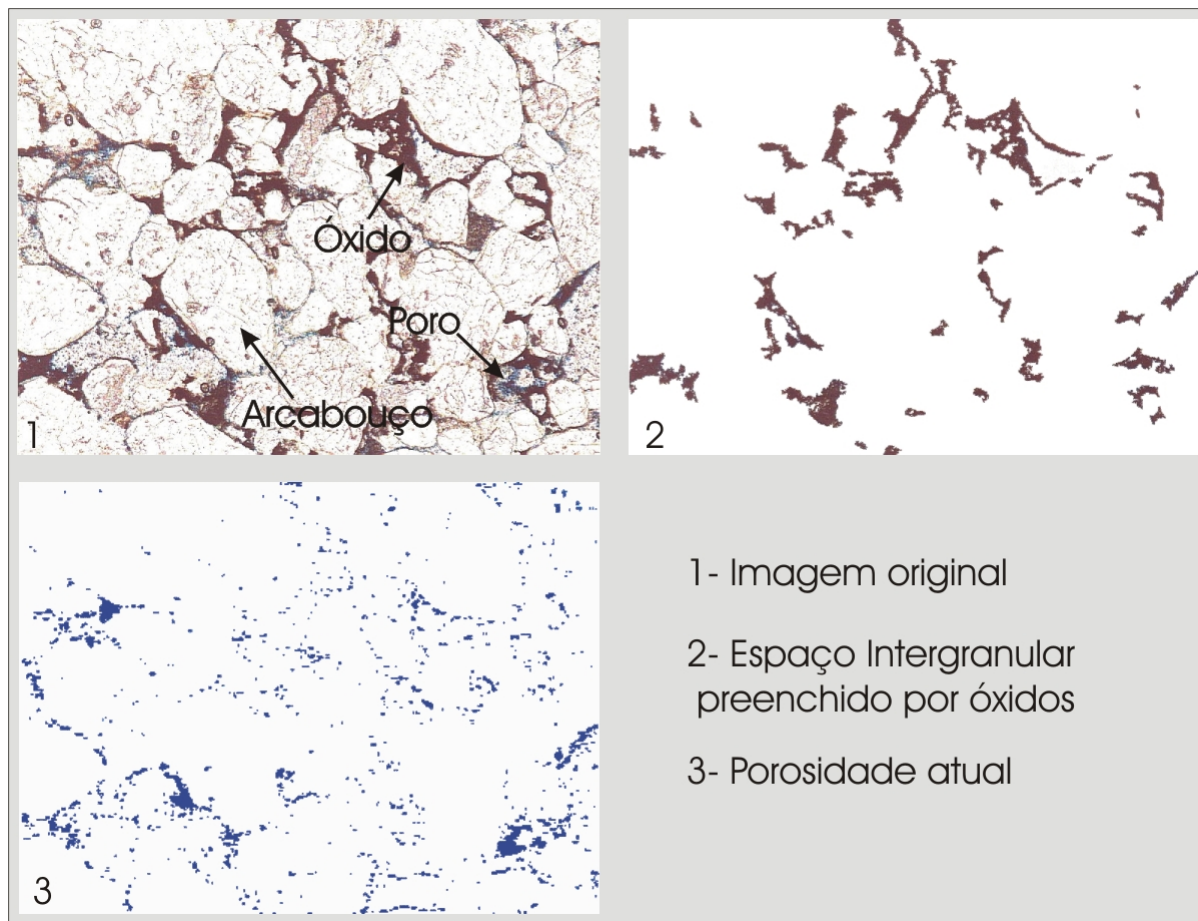


Figura 49 – Comparação entre espaços intergranulares preenchidos por óxidos e a porosidade atual.

Estimativa por perfis sônicos de poços

Estas estimativas, obtidas por meio de perfis sônicos, são restritas a alguns intervalos arenosos, onde os valores lidos nos perfis geofísicos fossem confiáveis (locais com leituras de tempo de trânsito entre 60 a 120 usec/ft, situados em profundidades maiores que 30 metros). As curvas calculadas de porosidade total e efetiva podem ser vistas na figura 50, referente ao poço 2-RIV-007-PR, juntamente com os resultados de análises texturais, perfil de raios gama, e interpretação litológica.

Nota-se que a diminuição relativa dos valores de porosidade na profundidade 40 metros é correlata a um aumento da contribuição de frações finas, com conseqüente diminuição das frações menores, de modo que a granulometria média diminui de areia média para areia fina. Isto é coincidente com uma mudança no padrão de grau de seleção, onde os arenitos passam a serem classificados como moderadamente selecionados.

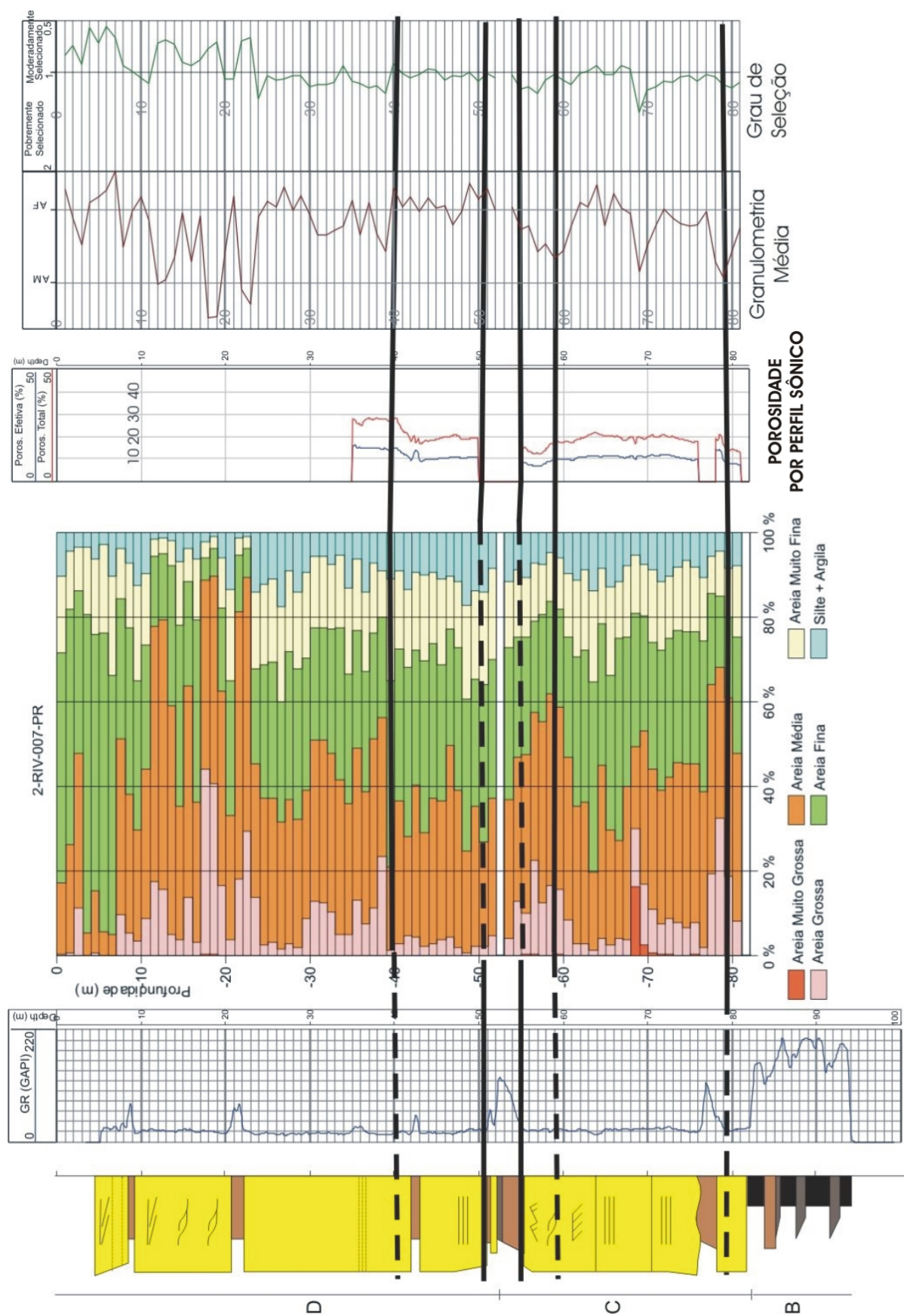


Figura 50 – Comparação entre litologia, raios gama, características texturais e valores de porosidade.

Entre as profundidades 50 a 55 metros, não foram calculados valores para porosidade, por se tratar de um intervalo predominantemente constituído por rochas de granulometrias siltico-argilosas.

A sequência arenosa seguinte é marcada por valores relativos de baixas porosidades, entre as profundidades 55 e 59 metros, coincidente com arenitos médios pobremente selecionados. Ocorre um incremento nos valores de porosidade quando passam a ser moderadamente selecionados, com ligeira diminuição da granulometria média.

A partir dos valores de granulometria média, grau de seleção, contribuição de classes de frações granulométricas e as respostas das leituras de raios gama, não é possível estabelecer relações diretas de influência com a porosidade calculada, conforme pode ser visto na tabela 3. Outros fatores que não foram quantificados, como graus de cimentação, compactação e alterações mineralógicas, além da presença de óxidos de ferro, que acabam tendo influência nos valores de porosidade.

Intervalo	Granulometria	Seleção	Porosidade (%)
35-40	areia fina	pobremente selecionada	30
40-50	areia fina	moderadamente selecionada	20
55-59	areia média	pobremente selecionada	10
59-76	areia fina	moderadamente selecionada	20
78-80	areia fina	moderadamente selecionada	20
80-82	areia média	pobremente selecionada	10

Tabela 03 – Valores de porosidades calculados através de perfil sônico.

Ensaaios laboratoriais

Os valores de porosidade obtidos através de ensaios laboratoriais por injeção de mercúrio em 22 amostras dos testemunhos referentes ao poço TR-01, e por estar localizado a menos de um metro do poço 2-RIV-001-PR, os valores de raios gama lido neste segundo poço são diretamente correlacionados ao primeiro. Pelo fato de que o poço 2-RIV-001-PR não possuiu amostragem de calha nas profundidades iniciais, foi utilizado o poço 2-RIV-005-PR para realizar correlações quanto a grau de seleção e granulometria média das amostras, conforme a figura 51. As curvas de raios gama nestes dois poços foram utilizados para a amarração dos dados, de

forma que as linhas horizontais na referida figura representam limites de padrões semelhantes.

A utilização deste método de quantificação resultou em valores na ordem de 13 a 23% de porosidade cujo comportamento geral pode ser diretamente relacionado às variações texturais de graus de seleção e granulometrias médias. Altos valores de porosidade são correspondentes a arenitos de granulometria fina a média, pobremente selecionados, enquanto que arenitos finos a médios, moderadamente selecionados, exibem valores relativamente mais baixos de porosidade. Estes comportamentos são devido ao fato de que os arenitos pobremente selecionados, imaturos quanto à composição mineralógica, quando foram submetidos ao estágio de telodiagênese, foram mais suscetíveis ao intemperismo superficial, tendo parte do arcabouço removida, juntamente com a transformação de feldspatos em caulinita. Além disso, nos arenitos maduros, com grau de seleção relativamente mais alto, desenvolveram sobrecrecimentos syntaxiais de quartzo no estágio de mesodiagênese, e assim obliteraram significativamente os valores de porosidade.

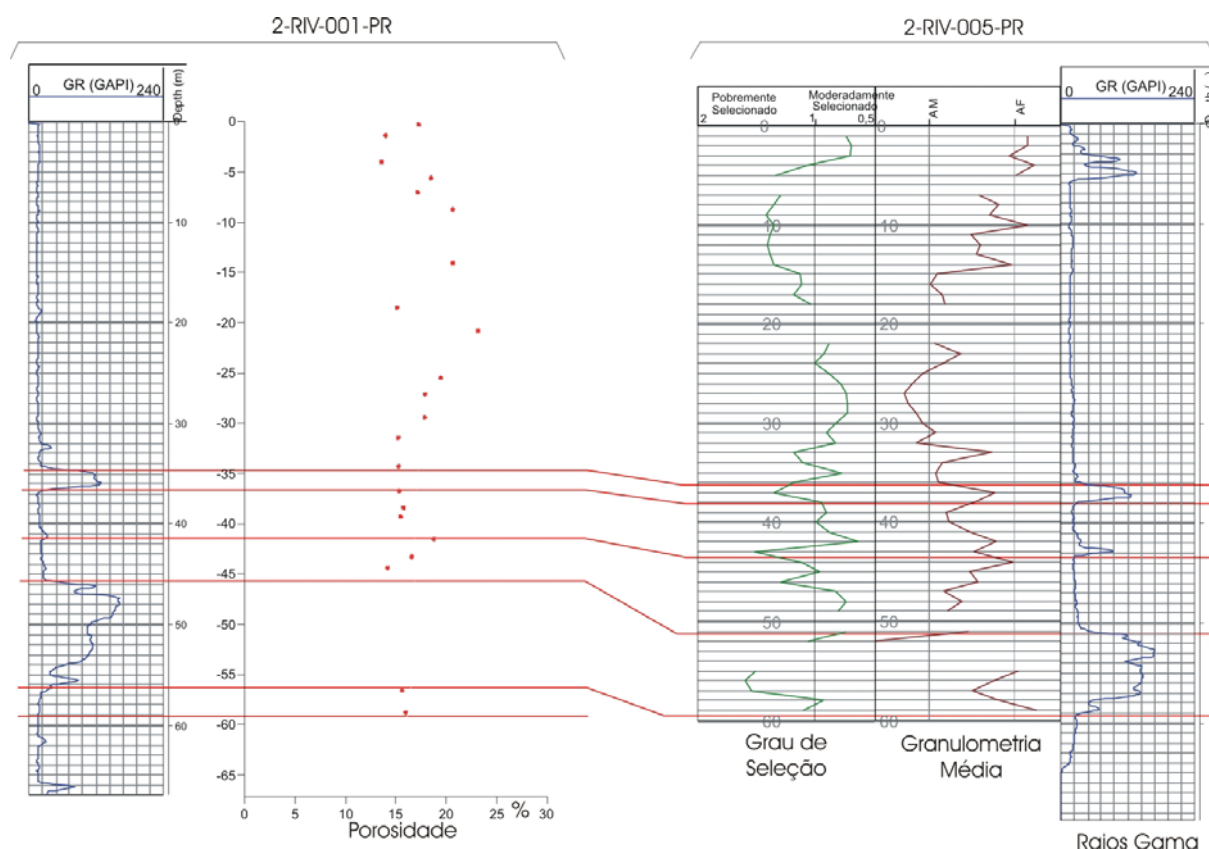


Figura 51 – Correlação entre valores de porosidade medida por porosímetro de mercúrio, grau de seleção, granulometria média e raios gama.

4.6.2. Relações Porosidade *versus* Permeabilidade

A relação entre os poros interconectados de uma rocha é o que irá caracterizá-la quanto a sua efetividade como reservatório, podendo ser aplicado a reservatórios de hidrocarbonetos ou aquíferos. Para tanto, é fundamental que a porosidade existente seja correlata a uma permeabilidade satisfatória, fazendo que exista a circulação de um fluido (água, óleo ou gás) presente nesses poros.

As figuras 52 e 53 representam as relações de porosidade e permeabilidade a partir de dados de análises laboratoriais do poço 2-RIV-001-PR, sendo que a primeira evidencia os valores em função da profundidade, e a segunda é um gráfico de permeabilidade *versus* porosidade.

Pela figura 52 verifica-se que a maioria dos valores de permeabilidades estão abaixo de 200 mD, mas com leituras atingindo mais de 800 mD. De forma geral, o aumento nos valores de permeabilidade são correlatos a relativos aumentos de porosidade.

O gráfico da figura 53 salienta que a relação existente entre porosidade e permeabilidade tem dependência com os tamanhos dos grãos, onde arenitos médios têm tendência de aumento de permeabilidade com o aumento de porosidade, enquanto que arenitos finos não apresentam esta correlação direta, ou seja, o aumento da porosidade não corresponde a aumento de permeabilidade.

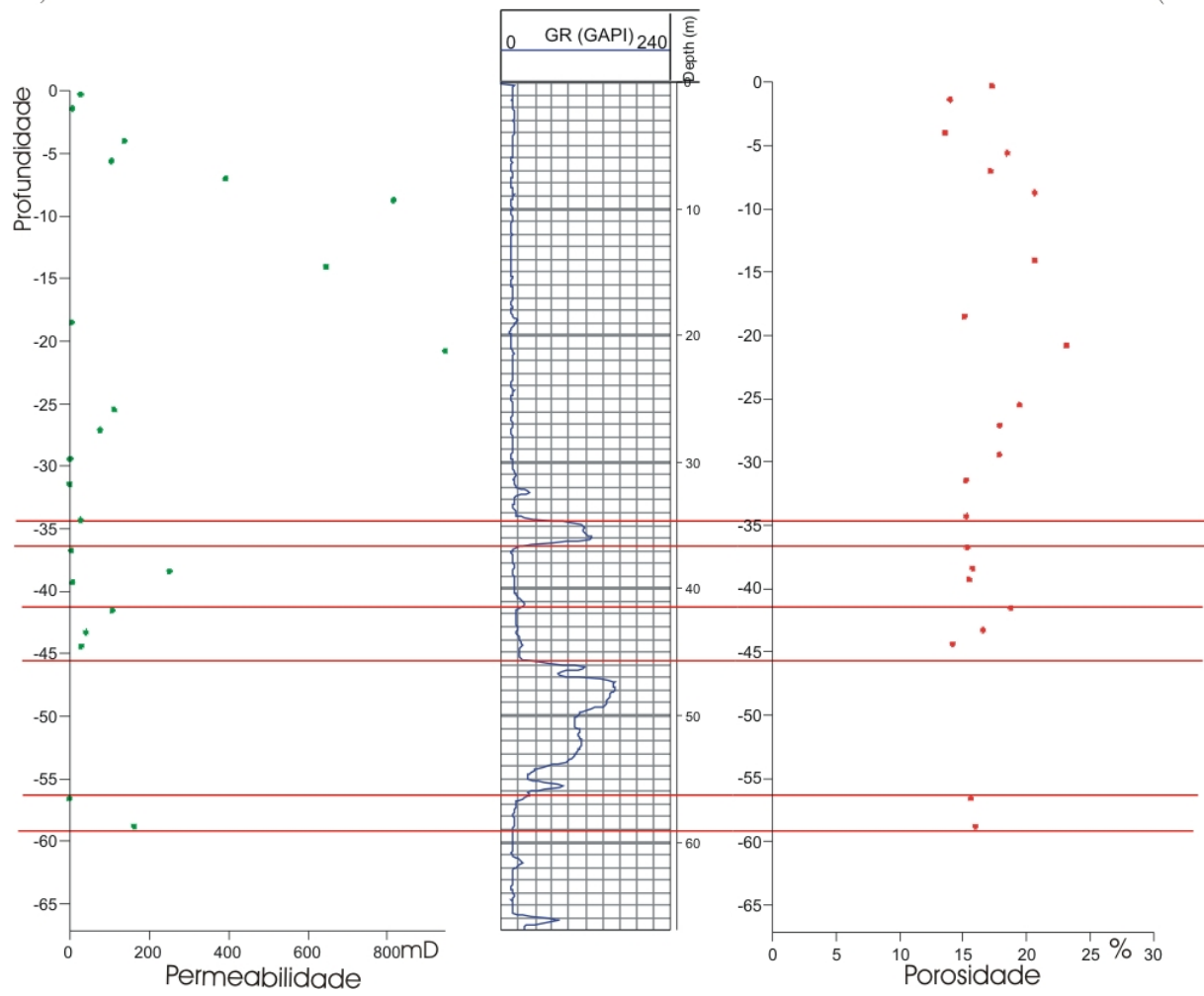


Figura 52 – Correlação espacial entre permeabilidade e porosidade.

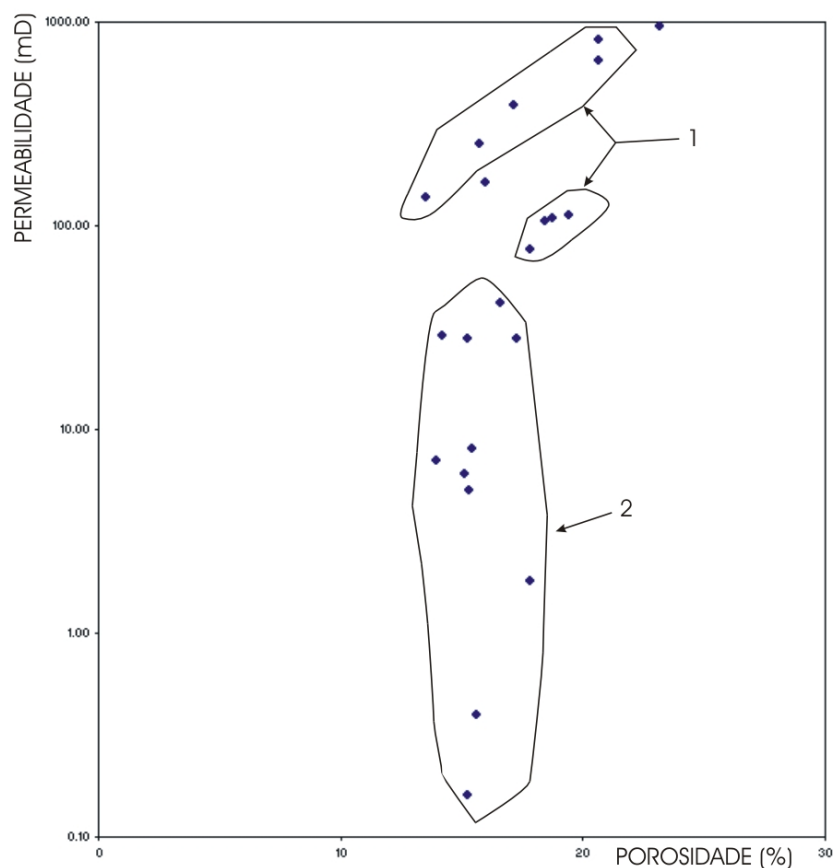


Figura 53 – Correlação entre valores de porosidade e permeabilidade: (1) arenitos médios; (2) arenitos finos (poço 2-RIV-001-PR).

4.7. Modelagem Tridimensional

Os modelos tridimensionais gerados são produtos da interpolação de valores atribuídos aos poços sintéticos criados e descritos no capítulo 2.2.10., nos quais é possível observar a distribuição espacial de diversas informações, como fácies sedimentares, granulometrias médias, graus de seleção (ou desvio padrão) e raios gama.

4.7.1. Fácies Sedimentares

As fácies sedimentares aqui presentes são restritas ao nível superior da escarpa estudada, pois o controle nos valores de cota dos topos das fácies exibem maior confiabilidade.

Esta modelagem é essencial para verificar heterogeneidades com respeito a espessuras, além da geometria espacial das fácies sedimentares. Nota-se pela figura 54 que existe um espessamento das camadas na porção representada na área de detalhe, com relativo adelgaçamento das camadas nas extremidades laterais.

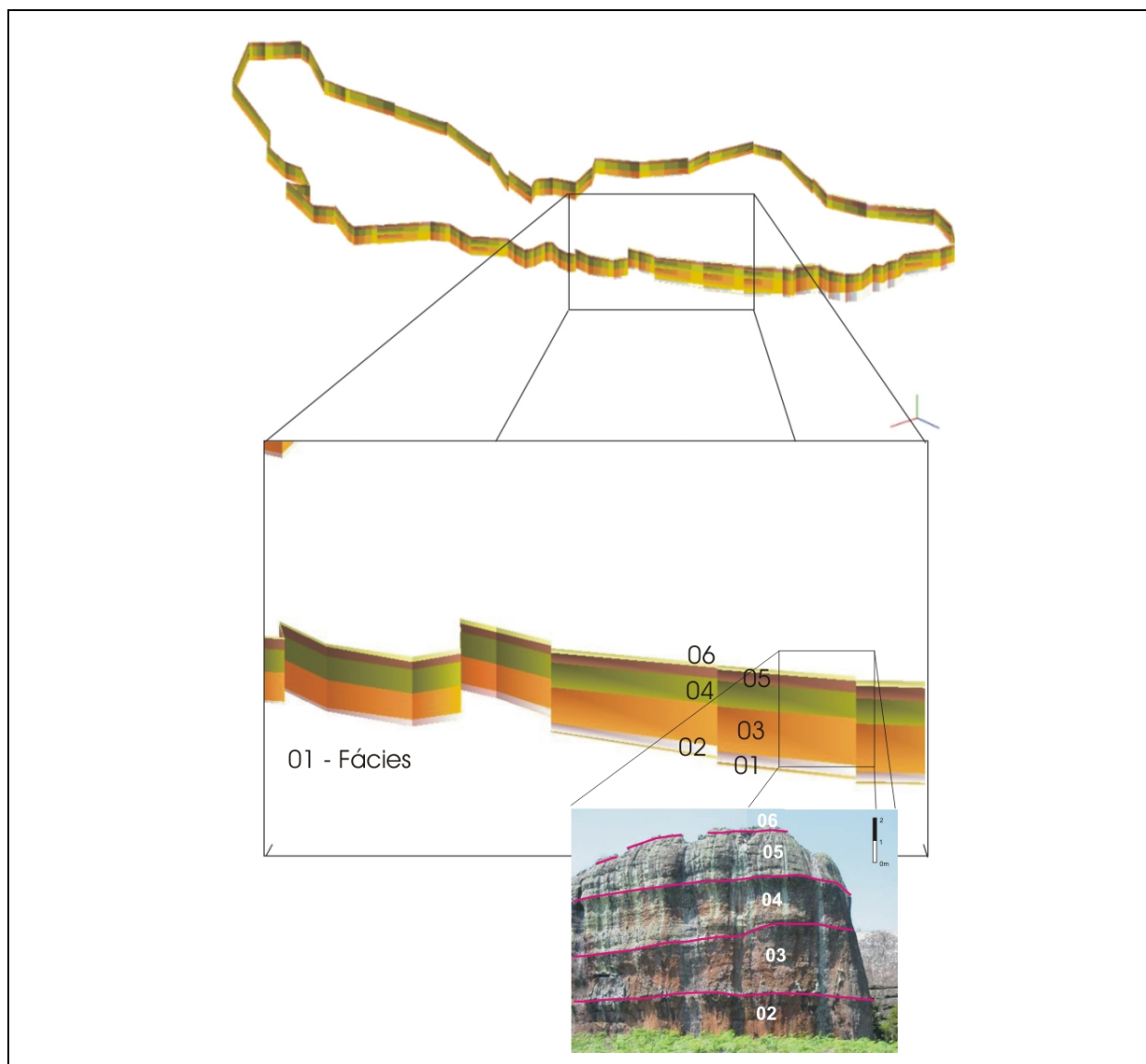


Figura 54 – Diagrama em cerca gerado a partir de poços sintéticos.

Na figura 55, além da já citada variação de espessura, a geometria das fácies pode ser melhor visualizada, onde evidencia-se nitidamente que as camadas têm mergulhos vergendo para Sul.

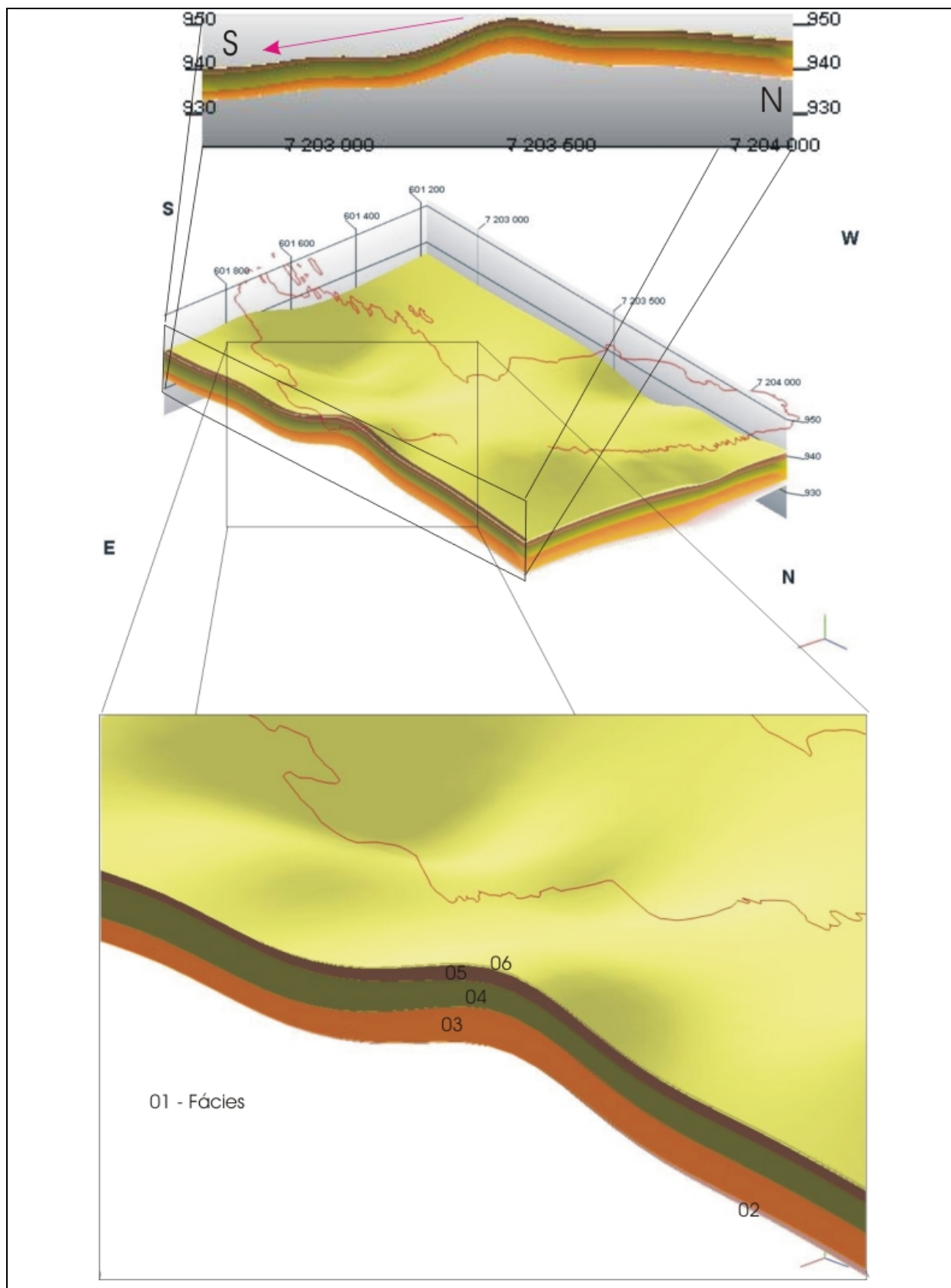


Figura 55 – Sólido gerado a partir de poços sintéticos, mostrando a geometria das fácies (sobrelevação 10X).

4.7.2. Granulometrias Médias

Para a confecção das figuras 56, 57 e 58, foram utilizados os dados de análises granulométricas dos poços perfurados na área. No sólido da figura 56, verifica-se a distribuição espacial de níveis com maior contribuição de arenitos grossos para sul, principalmente em profundidades rasas. Na mesma porção sul do sólido, tem-se dois espessos níveis de frações finas, nas cotas de 810 e 870 metros. Devido à falta de amostragem nestas mesmas profundidades na porção norte, esta feição não foi modelada.

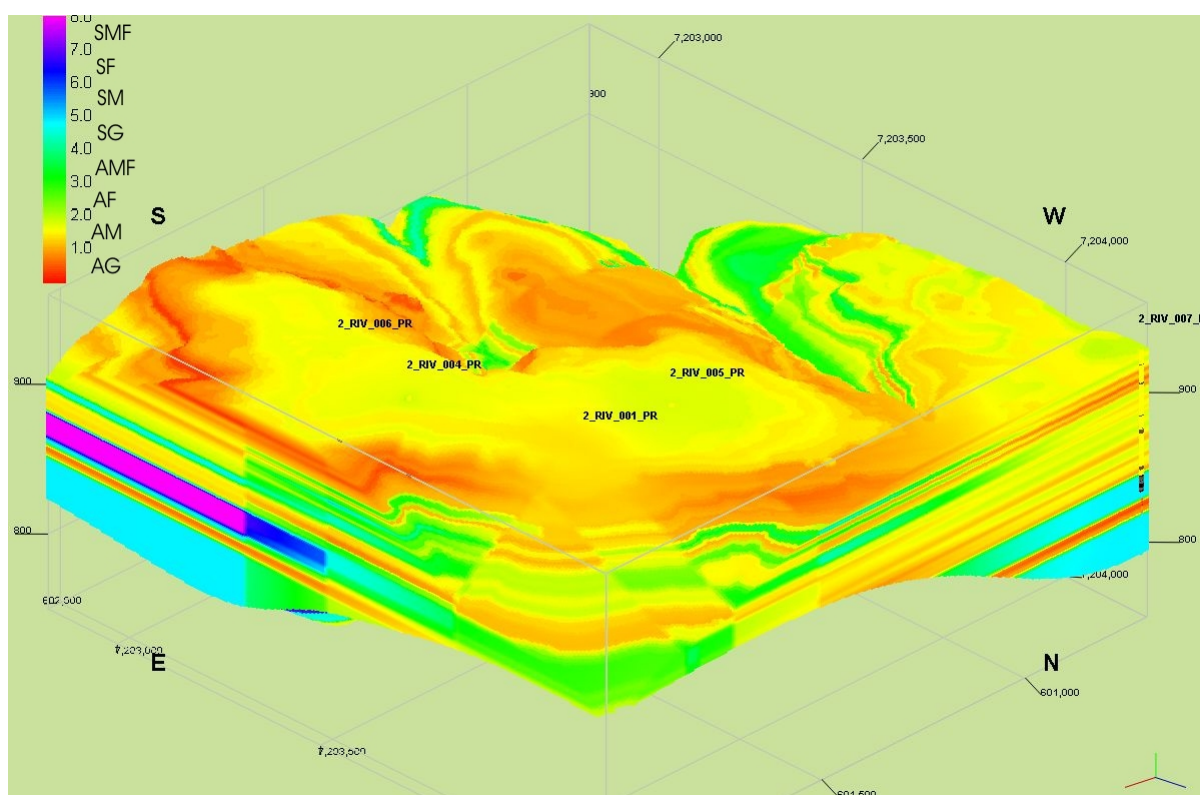


Figura 56 – Sólido mostrando a distribuição dos valores de granulometrias médias (sobreelevação 2X: SMF – silte muito fino; SF – silte fino; SM – silte médio; SG – silte grosso; AMF – areia muito fina; AF – areia fina; AM – areia média; AG – areia grossa).

O diagrama em cerca da figura 57, cujo limite é a escarpa aflorante da Fazenda Rivadávia, mostra intervalos mais limpos ou sem tanta presença de níveis de sedimentos finos a norte do diagrama, do que a sul do mesmo.

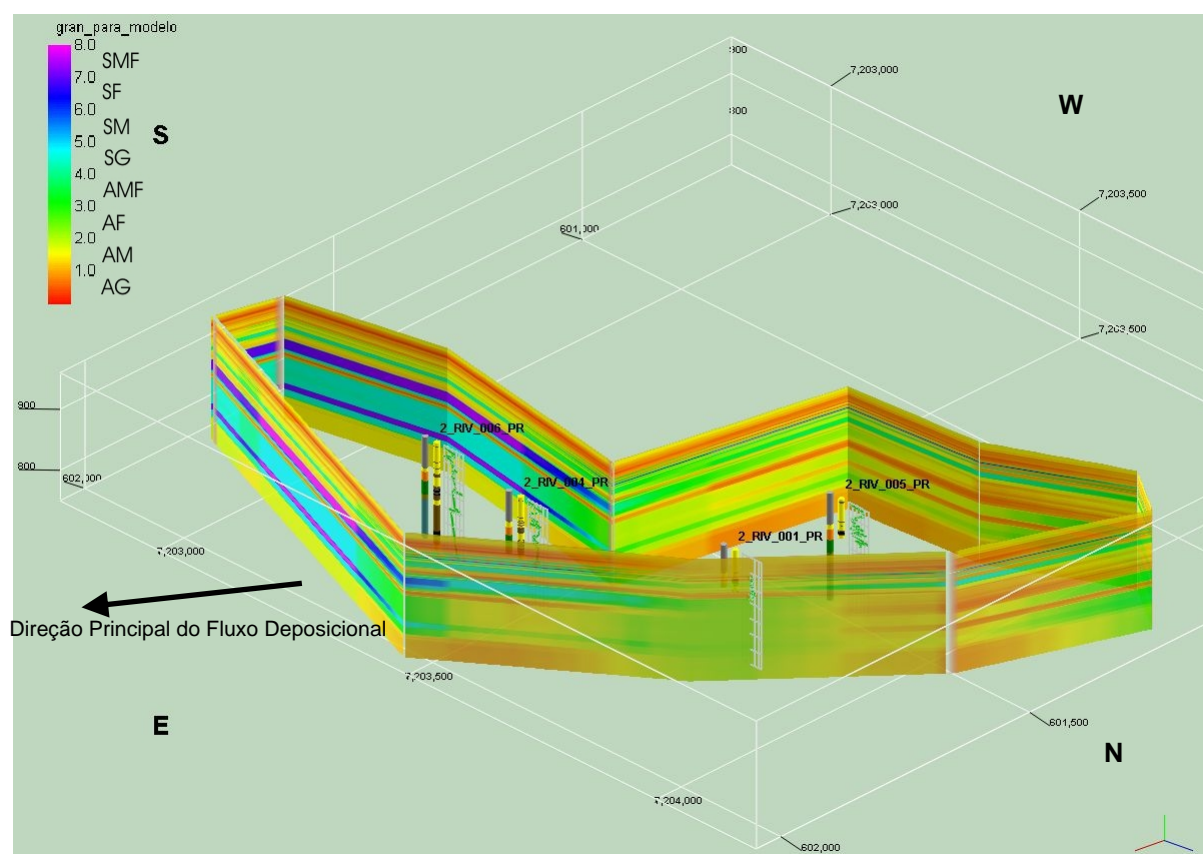


Figura 57 – Diagrama em cerca dos valores de granulometria média (sem sobrelevação: SMF – silte muito fino; SF – silte fino; SM – silte médio; SG – silte grosso; AMF – areia muito fina; AF – areia fina; AM – areia média; AG – areia grossa).

As seções da figura 58 foram feitas nas direções N-S, W-E e NW-SE, buscando representar variações faciológicas existentes. Destas, a direção NW-SE, que corresponde à direção principal do fluxo deposicional, é a que melhor representa a variação horizontal de fácies no intervalo estudado. Apesar de ser em escala local, é possível identificar um nível com concentrações de sedimentos finos, que podem representar uma superfície de máxima inundação marinha na cota 915 metros, sobreposta por um conjunto retrogradacional de parasequências. Por conhecimento regional sabe-se que as paleocorrentes têm direção noroeste (França *et al.* 1996), corroborando a distribuição encontrada nas seções, onde a feição retrogradacional delimitada pela distribuição de arenitos médios a grossos reflete um recuo continente à dentro da linha de costa.

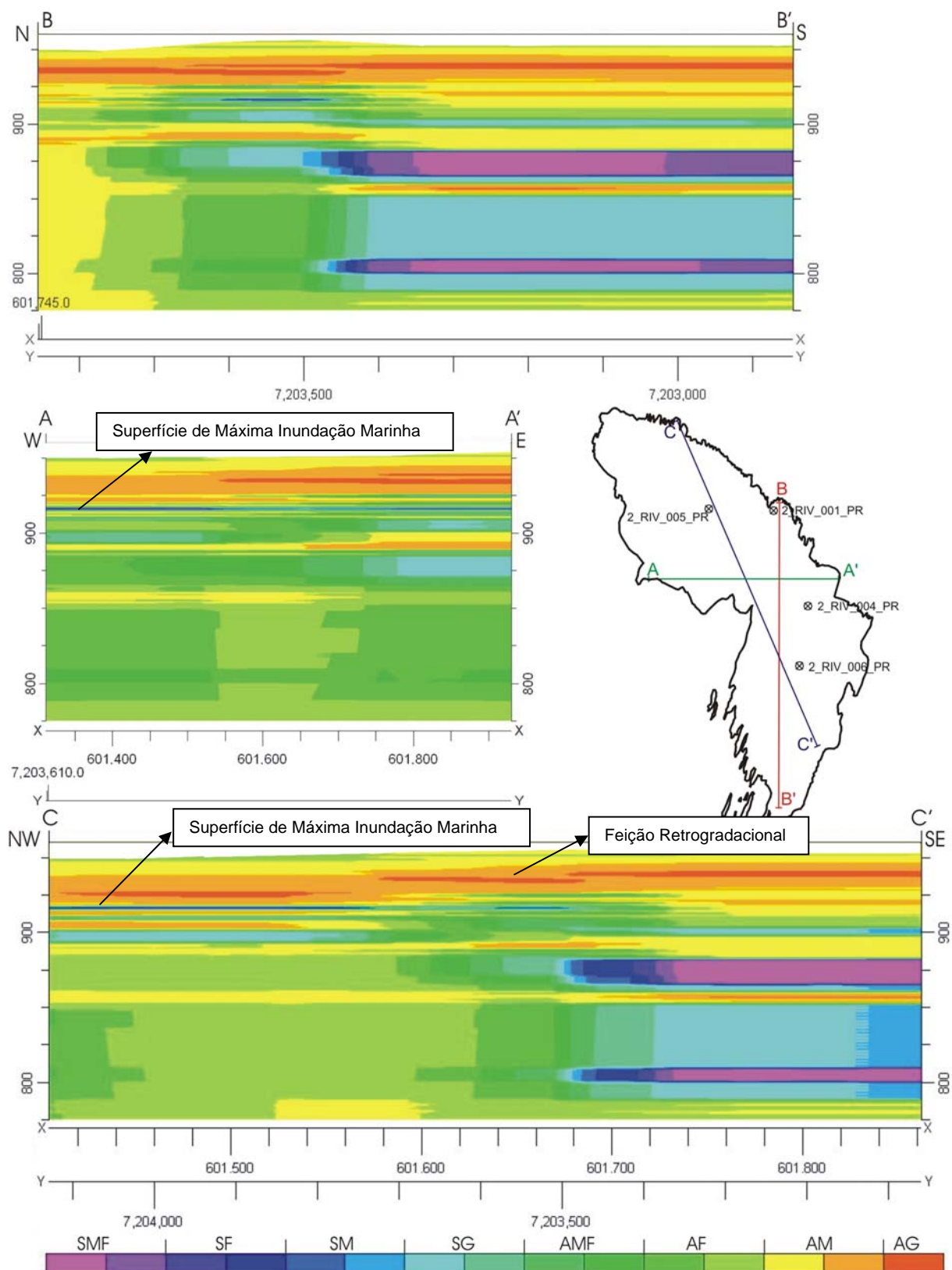


Figura 58 – Seções mostrando a distribuição da granulometria média (sobreelevação 2X: SMF – silte muito fino; SF – silte fino; SM – silte médio; SG – silte grosso; AMF – areia muito fina; AF – areia fina; AM – areia média; AG – areia grossa).

4.7.3. Grau de Seleção

Gerados a partir dos valores de desvio padrão das análises granulométricas de amostras de calha, as figuras 59, 60 e 61 mostram a variação do grau de seleção textural das rochas na área de estudo, sendo limitados apenas aos intervalos arenosos.

A figura 59 é um sólido que retrata valores relativamente mais altos de desvio padrão na porção SE e mais baixos para NW, e inversamente, arenitos pobremente selecionados a SE e moderadamente selecionados a NW.

O diagrama em cerca da figura 60 e as seções da figura 61 mostram mais claramente esta distribuição de valores, onde altos valores de desvio padrão, referentes a arenitos pobremente selecionados, são distribuídos na porção superior à nordeste e nos níveis mais profundos à sudeste da área, ao passo que os valores referentes a grau de seleção moderada distribuem-se de forma inversa.

Conforme já explanado no capítulo 4.6.1., aparenta existir uma relação direta entre valores de porosidade e grau de seleção, de forma que arenitos pobremente selecionados possuem porosidades relativamente maiores do que dos arenitos moderadamente selecionados. Desta forma é possível identificar, nas figuras 59, 60 e 61, o comportamento espacial dos valores porosidade, ao menos de forma qualitativa.

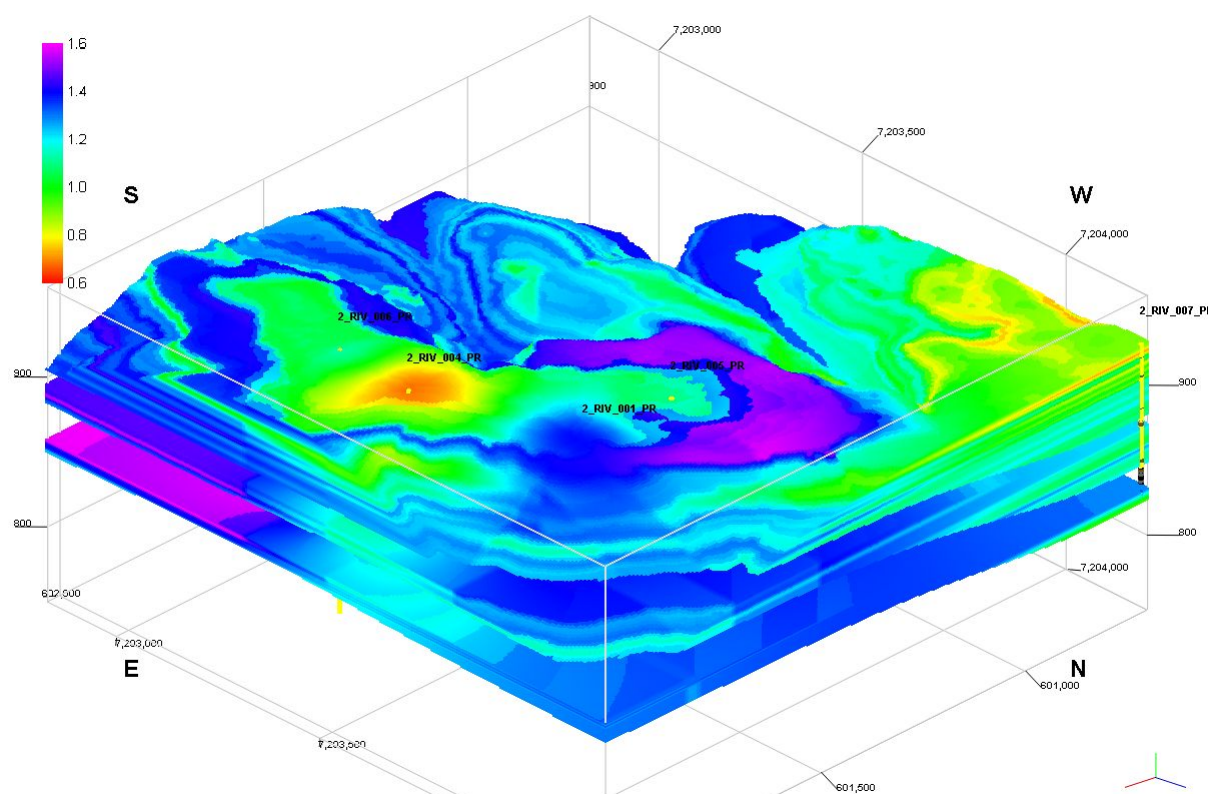


Figura 59 – Sólido mostrando a distribuição espacial dos valores de desvio padrão (sobrelevação 3X).

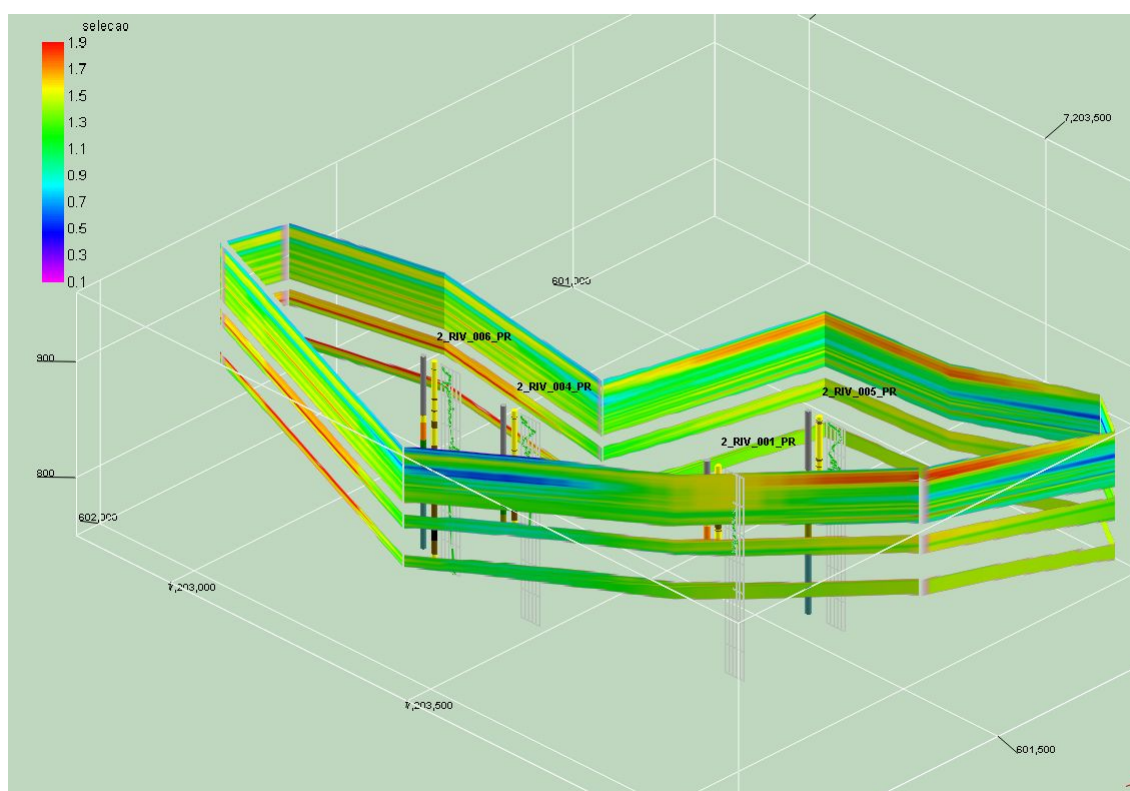


Figura 60 – Diagrama em cerca mostrando a distribuição espacial dos valores de desvio padrão (sobrelevação 2X).

4.7.4. Raios Gama

Devido à coerência dos valores de raios gama ao longo dos poços, estes puderam ser correlacionados, através de interpolação dos valores, gerando um diagrama tridimensional, conforme pode ser visualizado na figura 62.

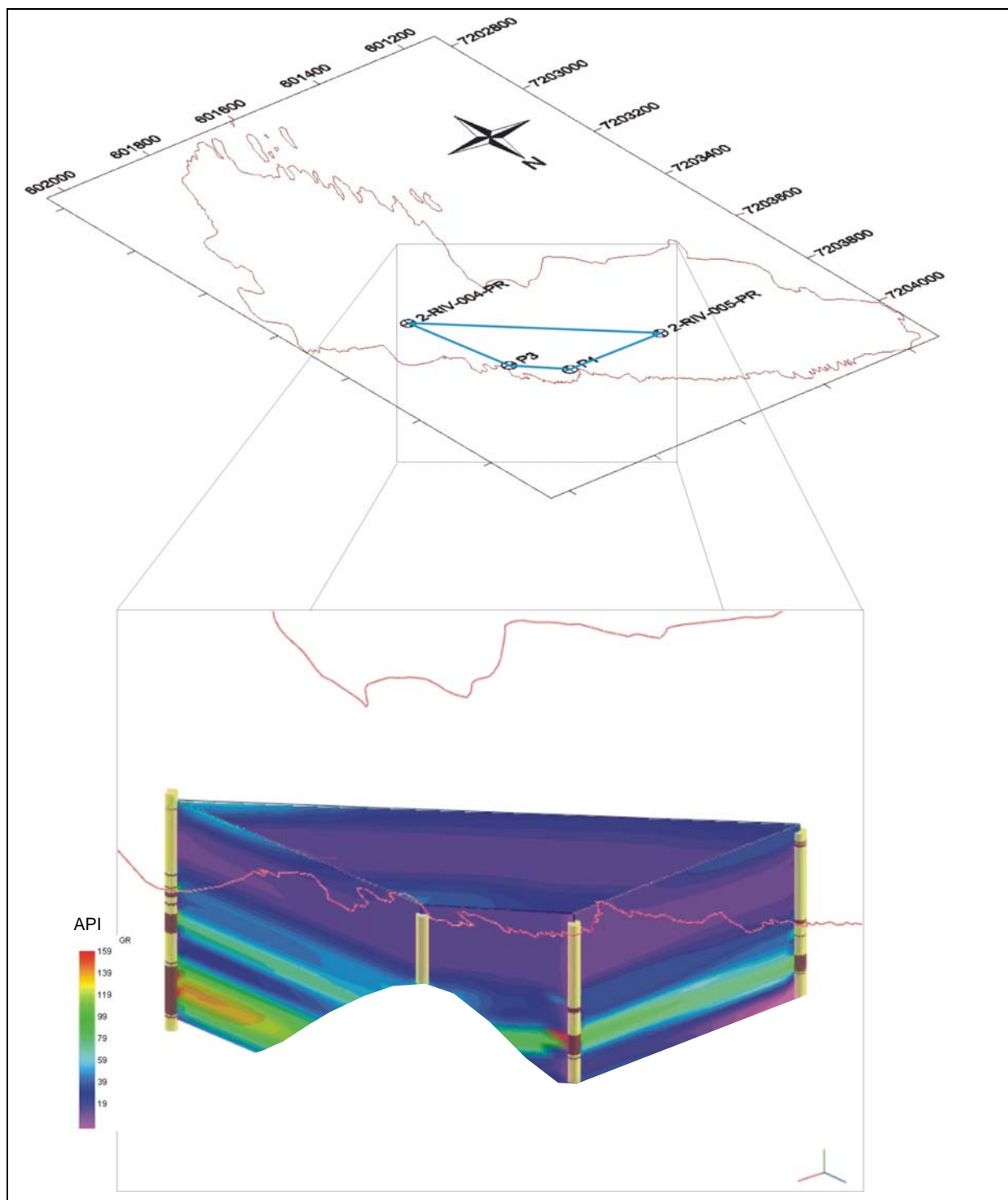


Figura 62 – Diagrama de cerca mostrando a distribuição de valores de raios gama.

A distribuição lateral dos níveis argilosos, representados pelos altos valores de raios gama, mostra ser heterogênea e horizontal, entretanto, um alto valor surge na porção esquerda inferior da figura, com espessura consideravelmente grande, e representada como sem continuidade lateral. Cabe ressaltar que o poço originário deste valor é o único cuja profundidade de perfilagem alcançou este horizonte argiloso, e a aparente ausência deste nível nas demais porções do modelo, é pelo fato dos outros poços não possuírem valores a serem interpolados nesta profundidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos de afloramentos de rochas análogas a reservatórios são de grande importância para a observação de heterogeneidades que são imperceptíveis em estudos de reservatórios em grandes profundidades. Entretanto, devem-se tomar precauções quanto aos efeitos telodiagenéticos que alteram as rochas aflorantes e sub-aflorantes. Este trabalho envolveu técnicas procurando integrar dados que servissem para caracterizar rochas análogas a um reservatório em subsuperfície, que resultaram nos produtos descritos no capítulo anterior. Uma série de considerações ou conclusões podem ser retiradas, que serão apresentadas em tópicos específicos a seguir.

Sensores remotos

A utilização de sensores remotos foi essencial para o reconhecimento e delimitação de aspectos geológicos, especialmente referentes ao condicionamento estrutural da área. A abordagem em nível de detalhe, idealizada nesta dissertação, foi atingida com a aquisição de aero-fotos de escala 1:10.000, onde detalhes sem grande nitidez nas fotos 1:25.000 foram reconhecidos, permitindo o traçado de planos de descontinuidades com o posicionamento espacial correto.

Condicionamento estrutural

A partir da abordagem das estruturas em diferentes ordens de grandezas (regional, local e microscópica) pôde-se comparar diagramas em rosetas de frequência dos lineamentos medidos diretamente em campo com os traçados sobre imagens digitais. Por esses diagramas têm-se direções diversas que não são observadas em escalas locais, pois, apesar de provavelmente terem sido geradas ou reativadas num mesmo contexto deformacional, acabaram tendo registros apenas como grandes feições. Já os mapeamentos realizados em escalas locais e de afloramentos refletiram a concordância da distribuição das direções das fraturas, sendo que estas muitas vezes estão dispostas como bandas de deformação. As precipitações de óxidos ao longo de suas continuidades promovem comportamentos

mais resistentes aos agentes intempéricos, resultando em pequenas saliências no relevo. A observação de lâminas de alguns desses planos oxidados revelam rochas com características distintas com relação à deformação. Essa deformação resultou em rochas com porções de grãos cominuídos, e essa cominuição ocasionaram obliteração das porosidades e permeabilidades. Assim, planos de fraturas que poderiam ter servido como dutos para a migração de fluidos, acabaram atuando como barreiras, de forma que o fluxo pode ter percolado ao longo das paredes dessas barreiras. Também cabe constatar que alguns dos planos de descontinuidades não apresentaram cominuição de grãos, e provavelmente atuaram como condutos preferenciais para a migração de fluidos, entretanto, a precipitação de óxidos fez com que esses planos passassem a atuar como barreiras ao fluxo.

Caracterização faciológica

As caracterizações faciológicas consistiram na identificação de fácies a partir de testemunhos de sondagens e foto-mosaicos de afloramento, sendo que algumas características foram complementadas com observações de campo. Foram delimitadas duas associações de fácies pelos testemunhos, correlatos às associações C e D de Vesely *et al.* 2003. Entretanto não foram reconhecidos exatamente os mesmos empilhamentos de fácies dentro das associações, pois as variações laterais devem ser consideradas, onde pequenas mudanças fazem com que uma determinada fácies passe a não ser reconhecida. Com relação ao estudo faciológico sobre foto-mosaicos de afloramentos, uma nomenclatura à parte foi utilizada, porém com características similares às descritas em testemunhos. Essa nomenclatura serviu para facilitar os trabalhos de modelagem tridimensional, além de permitir que o empilhamento vertical fosse observado com mais facilidade.

Caracterização textural

A caracterização textural foi representada por curvas de frações granulométricas, granulometrias médias e graus de seleção, além de gráficos em barras das frações. A origem desses dados foram os resultados das análises granulométricas de amostras de calhas de poços tubulares perfurados. A representação dos valores na forma de diagramas em barras serviu para

individualizar intervalos com granocrescências e granodecrescências ascendentes, em função do aumento ou diminuição da contribuição de frações finas e grossas, ao longo do empilhamento vertical. Com base nesses gráficos e diagramas, foram delimitados os intervalos denominados de C, D1, D2, D3 e D4, e quando comparados com perfis referentes a leituras de raios-gama, verifica-se que, com exceção do intervalo D4, entre o topo de D3 até a porção superior do intervalo D1, os valores de raios gama são similares, salientando que este não pode ser utilizado como perfil granulométrico, mas sim composicional. Apesar de ser um intervalo arenoso, a leitura de raios gama no intervalo D4 mostrou altos valores, justificável como sendo devido a leituras rasas, cuja confiabilidade merece cuidado. Já os altos valores no perfil de raios gama nos intervalos D1 e C são confiáveis, sendo referentes a níveis de folhelhos e diamictitos com matriz argilosa. Com respeito as questões de granulometrias médias e graus de seleção, em geral, os intervalos com granulometrias mais grossas, na ordem de areia média, apresentam-se texturalmente com seleção melhor do que as frações areia fina, com exceção feita ao intervalo D4, que para areias finas tem-se seleção melhor.

Caracterização petrofísica

Consistiu na aquisição de valores de porosidades e permeabilidades de intervalos arenosos. Para a quantificação das porosidades foram utilizadas três técnicas, anteriormente descritas. As porosidades obtidas pela estimativa de perfis sônicos e por porosímetro de mercúrio tiveram valores máximos e mínimos semelhantes, porém com padrões de distribuições verticais diferentes entre si. Já os valores de análise de imagens tiveram valores muito reduzidos quando comparados com as outras técnicas, mas com variação vertical semelhante aos dos ensaios laboratoriais. Acredita-se que os valores medidos em ensaios laboratoriais são os mais confiáveis, pois são realizados com técnicas amplamente conhecidas e sistemáticas.

A utilização de perfis sônicos de poços são funções do tempo de trânsito de ondas acústicas e da densidade estipulada ao meio rochoso em questão. Assim a utilização de valores equivocados de densidade, junto com a não consideração da heterogeneidade faciológica, acabam fornecendo valores imprecisos de porosidade. Os perfis de densidade podem fornecer valores próximos à realidade esperada,

porém necessitam de fonte radioativa para a realização do ensaio, sendo descartado o seu uso em afloramentos rasos, evitando, desse modo, a contaminação do lençol freático.

Entre as técnicas utilizadas, as análises de imagens binárias de seções delgadas são a que tem menor custo, requerendo equipamentos mais simples e podendo ser realizadas com o uso de fragmentos de amostras de calha, ao passo que ensaios laboratoriais e perfilações de poços são relativamente mais caros. Entretanto, os valores obtidos por análise de imagens requerem certos cuidados na utilização, pois baixas permeabilidades dificultam a correta impregnação por corantes, além da viscosidade do material impregnante impossibilitar o preenchimento de poros muito pequenos. Outra questão a ser considerada, é o fato de que esta é uma técnica bidimensional, ao passo que a porosimetria realiza ensaios tridimensionais.

Quando comparados os valores de porosidades medidos por ensaios laboratoriais com as curvas de desvio padrão ou grau de seleção das análises granulométricas, verificou-se que esses valores exibiram comportamento de distribuição vertical muito semelhantes. Dessa forma pode-se, de forma qualitativa, utilizar modelos de distribuição de desvio padrão para predizerem locais de maiores e menores porosidades relativas, onde os melhores valores de porosidades foram correlatos aos níveis classificados como arenitos pobremente selecionados.

Poços sintéticos e modelos tridimensionais

A criação de poços sintéticos permitiu inserir dados de diferentes atributos em um mesmo ambiente, propiciando a correlação espacial direta dos dados. Esses poços tiveram os valores de seus atributos interpolados, de forma a resultar em sólidos, diagramas em cerca e seções. Isto permitiu delimitar a geometria externa das rochas em subsuperfícies, de forma que variações das propriedades faciológicas serviram como base de dados para esta delimitação. Sobre esses modelos foram identificados padrões deposicionais, bem como observados o comportamento da distribuição de valores de granulometrias, graus de seleção e, por consequência, locais com maiores e menores índices de porosidade relativas.

6. BIBLIOGRAFIA

- Appi, C.J.; Rostirolla, S.P. 2004. Modelagem da anisotropia em sistemas fraturados a partir de estudos de alta resolução na Bacia do Paraná, Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro. v.12 n.1, p.125-147.
- Assine, M.L. 1996. *Aspectos da estratigrafia das sequências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil*. São Paulo, tese de Doutorado. IG USP. 207 p.
- Assine, M.L.; Soares, P.C. & Milani, E.J. 1994. Sequências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 28: 77-89.
- Bartoszeck, M.K. 2004. *Análise multitemática de dados geológicos e sísmica de reflexão: um ensaio metodológico – estudo de caso Grupo Itararé*. Curitiba, tese de mestrado. UFPR. 106 p.
- Bocardi, L. B., Fernandes, L. A., Vesely, F. F., Rostirolla, S. P., Appi, C. J. 2003. Petrographic and diagenetic aspects of the Lapa and Vila Velha Sandstones, Itararé Group, Paraná Basin, Brasil In: 3rd Latinamerican Congress of Sedimentology, 2003, Belém-PA. v.1.p.197–198.
- Fernandes, L.A. 1998. *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)*. São Paulo, tese de Doutorado. IG USP 216 p.
- França, A. B.; Winter, W.R.; Assine, M.L. 1996. Arenitos Lapa-Vila Velha: um modelo de sistemas subaquosos canal-lobos sob influência glacial, Grupo Itararé (C-P), Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 26(1): 43-56.
- França, A. B., Potter, P. E. 1989. Estratigrafia e ambiente deposicional do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 2). *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro. v.3 n.1/2, p.17-28.
- França, A. B. & Potter, P. E. 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro. . V.2 n.2/4, p.147-191.

- Milani, E.J. 1997. *Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e de seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. Porto Alegre, tese de Doutorado. IG-UFRS. 255p.
- Milani, E.J., França, A.B., Schneider, R.L. 1994. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobras, 8(1):69-82.
- Milani, E.J.; Thomaz Filho, A. 2000. Sedimentary basins of South America. In: U.G. Cordani; E.J. Milani; A. Thomaz Filho; D.A. Campos. *Tectonic Evolution of South America*, Edição Especial do 31st International Geological Congress, p. 389-449.
- Nery, G.G. 2000. Perfilagem geofísica aplicada a água subterrânea. 38 p. In: Feitosa, F.A.C & Manoel Filho, J. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. CPRM, 391 pp.
- Nielsen, L.H.; Mathiesen, A.; Bidstrup, T.; Vejbaek, O.V.; Dien, P.T.; Tiem, P.V. 1999. Modelling of hydrocarbon generation in the Cenozoic Song Hong Basin, Vietnam: a highly prospective basin. Journal of Asian Earth Sciences, 17: 269-294.
- PAULIPETRO. 1981. Relatório de Atividades 1979/1981, 59 pp.
- Rostirolla, S.P.; Appi, C.J.; Mancini, F.; Kraft, R.P.; Bartoszeck, M.K. 2001. Fraturas controladoras da migração de fluidos nos Arenitos Vila Velha, Grupo Itararé, Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, 31:349-356.
- Schneider, R.L.; Muhlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R.A.; Daemon, R. Nogueira, A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, v.1, p. 41-65.
- Soares, P.C. 1991. *Tectônica sin-sedimentar cíclica na Bacia do Paraná: controles*. Tese de Titular – UFPR, 148 p.
- Trzaskos-Lipski, B.; Rostirolla, S.P.; Vesely, F.F.; Bocardi, L.B.; Mancini, F.; Appi, C.J.. 2003. Microtectônica e sua Importância no Estudo da Circulação de Fluidos em Reservatórios Fraturados do Grupo Itararé – Bacia do Paraná. In: Anais do IX Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos – SNET. Búzios, Rio de Janeiro, p. 361.
- Trzaskos-Lipski, B.; Rostirolla, S.P.; Bocardi, L.B.; Appi, C.J. 2004. Microtectônica de zonas de cisalhamento rúpteis, estudo de caso no Arenito

- Vila Velha – Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 42. Araxá: Sociedade Brasileira de Geologia. Divulgado em meio digital.
- Vesely, F.F. & Assine, M. L., 2004. Seqüências e Tratos de Sistemas Depositionais do Grupo Itararé, Norte do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 34 (2):219-230.
- Vesely, F.F. 2001. *Análise de sequências em sucessões glaciais: estudo de caso no Grupo Itararé (C-P), nordeste do Estado do Paraná*. Dissertação de mestrado. Rio Claro, UNESP, 119p.
- Vesely, F.F.; Trzaskos-Lipski, B.; Kraft, R.P.; Rostirolla, S.P.; Appi, C.J. 2003. Facies architecture of a Permian sandstone reservoir analogue, Paraná Basin, Brazil. In: Latin American Congress of Sedimentology, 3^o, Abstract Book. UFPA/MPEG, Belém, 2003, p. 67-69.
- Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Jour. Sedimentary Petrology*, 30:377-392.
- Zalán, P.V.; Wolff, S.; Astolfi, M.A.M.; Vieira, I.S.; Conceição, J.C.J.; Appi, V.T.; Neto, E.V.S.; Cerqueira, J.R.; Marques, A. 1990. The Paraná Basin, Brazil. Tulsa: AAPG Memoir 51, p. 681-708.